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

RAFAEL FERRO MUNHOZ ARANTES

**Proposta de um modelo de classificação de riscos de fornecimento baseado
na aplicação das técnicas *fuzzy* para a tomada de decisão em grupo**

**São Carlos
2020**

Rafael Ferro Munhoz Arantes

Versão Corrigida

(a versão original se encontra na Unidade que aloja o Programa)

Proposta de um modelo de classificação de riscos de fornecimento baseado na aplicação das técnicas fuzzy para a tomada de decisão em grupo

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Processos e Gestão de Operações

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti

**São Carlos
2020**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA 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).

FA662 Ferro Munhoz Arantes, Rafael
P Proposta de um modelo de classificação de riscos
de fornecimento baseado na aplicação das técnicas fuzzy
para a tomada de decisão em grupo / Rafael Ferro Munhoz
Arantes; orientador Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti. São
Carlos, 2020.

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, 2020.

1. Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos. 2.
Tomada de decisão em grupo. 3. Gestão de fornecedores.
4. Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set. 5. Fuzzy Rule-
Based Classification System. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **RAFAEL FERRO MUNHOZ ARANTES**.

Título da dissertação: "Proposta de um modelo de classificação de riscos de fornecimento baseado na aplicação das técnicas *fuzzy* para a tomada de decisão em grupo".

Data da defesa: 30/07/2020

Comissão Julgadora:

Resultado:

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

APROVADO

Profa. Dra. **Eliciane Maria da Silva**
(Universidade Metodista de Piracicaba/UNIMEP)

APROVADO

Prof. Dr. **Gilberto Miller Devós Ganga**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

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

Prof. Dr. **Marcelo Seido Nagano**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha família, em especial a minha mãe Mariangela Trócoli Ferro Arantes, ao meu pai Geraldo Munhoz Arantes e aos meus irmãos, cunhadas e sobrinhos: Bruno, Ana e Laurinha, Guilherme, Iara e Biel, Rodrigo e Ívina. Sou grato por todo amor e apoio dedicado.

Agradeço ao professor Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti, que foi um orientador incrível de uma maneira que jamais imaginei ser possível. Agradeço por contribuir com seu conhecimento para minha pesquisa e por ter me mostrado como prepara suas aulas com tanta dedicação e carinho. Deixo registrado minha total admiração pelo senhor por ser essa pessoa incrível e um profissional exemplar.

Agradeço ao professor Lauro Osiro, que vem me apoiado desde a minha graduação. Sou eternamente grato por ter me dado tantas oportunidades e ter acreditado em mim. Agradeço também a professora Eliciane Maria da Silva e ao professor Gilberto Miller Devós Ganga, por terem aceitado em participar da minha banca de defesa e poder contribuir com seus conhecimentos.

Agradeço ao Lucas Gabriel Zanon, que foi o irmão que eu ganhei de presente para a vida. Agradeço por estar do meu lado em todos os momentos dessa trajetória. Por fazer os bons momentos ainda melhores e me confortar nos momentos de dificuldade. É extremamente difícil expressar em palavras toda minha gratidão por você.

Agradeço ao Lucas Daniel Del Rosso Calache, que foi um amigo fundamental para meu crescimento profissional e pessoal. Agradeço por ser sempre tão atencioso, por ter me apoiado incontáveis vezes e ser um exemplo de uma pessoa incrível que admiro muito.

Agradeço a Ana Carolina Bertassini e Nadya Regina Galo quem tiveram uma enorme importância para meu desenvolvimento pessoal e como pesquisador. Sinto-me sortudo por conhecido pessoas tão incríveis e que passei a admirar tanto. Vou carregar a amizade de vocês para sempre comigo.

Agradeço a Cíntia, que foi uma pessoa essencial para eu me tornar o homem que sou hoje. Agradeço por ser minha eterna parceira, por ter cedido seu tempo e ter aberto as portas da empresa para a realização deste projeto.

Agradeço a Duda, que esteve presente já bem no começo dessa jornada, que escutou minhas inseguranças e comemorou cada vitória minha como se fosse dela. Sou eternamente grato por todo seu apoio, compreensão e carinho.

Agradeço a todos meus amigos: Paula, Helena, Mari, Cervi, Lipim, João, Eryk, Malária, Túlio, Nice, Lucão, Paulo, Dudu, Arthur, Skan, Tumate, Fábio, Bruno e Otávio. Agradeço por sempre terem sido meu porto seguro e por me fornecerem uma base tão sólida. São vocês que me permitem ser capaz seguir em frente sabendo que, por mais longe que eu vá, eu sempre terei um lugar para voltar.

Finalmente, agradeço aos moradores e ex-moradores da Área 51: Ale, Kuduro, Nemo, Ronca, Transfa, Kalango, Thanos, Shimeji, Xícara, Louco, Mila, Grilo, Ítalo, Jesus e Pomposo. Vocês foram extremamente importantes para meu amadurecimento e foram as melhores pessoas que eu poderia ter escolhido para morar junto. Muito obrigado.

Agradeço à CAPES e FAPESP (processo 2018/14831-5) pelo apoio financeiro.

“É justamente a possibilidade de realizar um sonho que torna a vida interessante”

- Paulo Coelho

RESUMO

ARANTES, R. F. M. **Proposta de um modelo de classificação de riscos de fornecimento baseado na aplicação das técnicas *fuzzy* para a tomada de decisão em grupo.** 128 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

A gestão de riscos na cadeia de suprimentos (SCRM) é um tema que vem sendo amplamente abordado nos estudos acadêmicos e nas organizações. Nesse contexto, a etapa de avaliação de riscos de fornecimento é a que atrai o maior volume de pesquisas, na qual foram identificadas cinco grandes oportunidades de estudos, sendo elas: (1) lidar adequadamente com a imprecisão presente nas avaliações humanas devido a suas incertezas ou falta de dados; (2) utilizar uma técnica adequada para o processo de decisão ser em grupo; (3) considerar que fatores de risco com um nível de severidade muita alta não sejam compensados por um nível de ocorrência muito baixo; (4) utilizar um método de classificação baseado em regras *fuzzy* (*Fuzzy Rule-Based Classification System* – FRBCS) para avaliar os riscos de suprimento; e (5) utilizar dados reais para a aplicação de modelos de gestão de riscos na cadeia de suprimentos. Deste modo, para contemplar todas essas oportunidades simultaneamente, a presente dissertação propôs um modelo de processo de decisão que combine o uso da representação linguística *hesitant fuzzy linguistic term set* (HFLTS) para modelar matematicamente a hesitação dos decisores durante o processo de julgamento em grupo com o FRBCS para inferir e classificar o grau de cada fator de risco avaliado de maneira compensatória e não-compensatória quando necessário. O trabalho também inclui a modelagem computacional da proposta e a realização de uma aplicação piloto para priorizar os riscos de fornecimento que possuem maior importância a partir da avaliação dos decisores. Os resultados da aplicação piloto mostraram-se condizentes com a realidade da empresa e foram validados pelos especialistas. As análises de sensibilidade comprovaram o comportamento não-compensatório do modelo, além disso, foi demonstrado que é possível ajustar os parâmetros dos números *fuzzy* para obter resultados que auxiliem mais o processo decisório. As análises de sensibilidades também apontaram que ao se considerar a hesitação dos decisores, tanto a ordenação das importâncias dos fatores de risco, quanto às classificações deles podem ser alteradas.

Palavras-chave: Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos, Tomada de decisão em grupo, Gestão de fornecedores, *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set*, *Fuzzy Rule-Based Classification System*.

ABSTRACT

ARANTES, R. F. M. **Proposal of a supply risk classify method based on the application of fuzzy techniques for group decision making.** 128 p. University of São Paulo at São Carlos School of Engineering, São Carlos, 2020.

Supply Chain Risk Management (SCRM) is an issue that has been widely discussed in academic studies and in organizations. In SCRM, supply risk assessment attracts the largest volume of research, where five major research opportunities have been identified: (1) adequately deal with the imprecision present in human assessments due to their uncertainties or lack of data; (2) using a suitable technique for the decision process to be in a group; (3) consider that risk factor with a high level of severity can not be compensated by a low occurrence level; (4) use a *Fuzzy Rule-Based Classification System* (FRBCS) for supply risk assessment; and (5) use real data for the application of risk management models in the supply chain. To contemplate these opportunities, the present project aims to propose a decision-making model that combines the hesitant fuzzy linguistic term set (HFLTS) to mathematically model the hesitation of the decision makers during the group decision making process (GDM) with the FRBCS to classify the risk factors in a compensatory and non-compensatory approach. The dissertation also includes the computational modeling of the proposal and the implementation of a pilot application to prioritize the supply risks that have the greatest impact on the evaluation of decision makers. The pilot application results show that there are coherent with the enterprise reality. The sensibility analysis confirms the non-compensatory behavior of the model. In addition, it was demonstrated that is possible to adjust the fuzzy numbers to obtain results to support the decision making process. The sensibility analysis also pointed that the experts hesitation have impact in the ranking and in the classification of the risk factors.

Keywords: Supply Chain Risk Management, Group decision making, Supplier Management, Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set, Fuzzy Rule-Based Classification System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Principais etapas para o desenvolvimento da pesquisa.	31
Figura 2– Principais elementos da Gestão de Riscos.....	35
Figura 3 – Exemplo de matriz de riscos.....	37
Figura 4 – Framework dos riscos da cadeia de suprimento.	38
Figura 5– Matriz de Kraljic.....	48
Figura 6– Etapas da metodologia de pesquisa.	50
Figura 7– Distribuição de publicações ao longo dos anos.	51
Figura 8 – Distribuição dos números de citação por contexto de aplicação.	52
Figura 9 – Distribuição de técnicas utilizadas para a avaliação de riscos.....	52
Figura 10 – Distribuição dos métodos de decisão em grupo.	53
Figura 11 – Distribuição das naturezas dos inputs para processar os julgamentos dos especialistas.....	54
Figura 12 – Distribuição dos tipos de representações linguísticas.....	54
Figura 13 – Tipos de representações linguísticas utilizadas ao longo dos anos.	55
Figura 14 – Função de pertinência triangular.	58
Figura 15 – Função de pertinência trapezoidal.	59
Figura 16 – Exemplos de diferentes expressões linguísticas ativando diferentes conjuntos de termos.....	60
Figura 17 – Estrutura do <i>Fuzzy Inference System</i>	64
Figura 18 – Funções de pertinência e suas respectivas variáveis linguísticas nas formas triangulares.....	65
Figura 19 – Exemplo de divisão do espaço em subespaços <i>fuzzy</i>	68
Figura 20 – Relação do modelo proposto com o processo de avaliação de riscos.	73
Figura 21 – Etapas e componentes do modelo avaliação e classificação de riscos.	74
Figura 22 – Exemplo de funções de pertencimento relacionadas aos termos linguísticos.	75
Figura 23 – Superfície do cenário 3 gerada por regras compensatórias.	95
Figura 24 – Superfície do cenário 2 gerada por regras não-compensatórias.	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos fatores de risco de acordo com a o framework proposto por Ho et al. (2015).	40
Quadro 2 – Critérios de seleção de fornecedores.....	44
Quadro 3 – Fatores de risco externos ao fornecedor que afetam o fornecimento.....	46
Quadro 4 - Exemplo de base de regras.	70
Quadro 5 - Fatores de risco identificados.	81
Quadro 6 – Base de Regras para aplicação piloto.....	83
Quadro 7 – Avaliações linguísticas da severidade e ocorrência dos fatores de risco.	85
Quadro 8 – Fatores de risco de risco classificados e ordenados.	87
Quadro 9 – Base de Regras com regras apenas compensatórias.....	90
Quadro 10 – Classificação dos fatores de risco para cada cenário.	91
Quadro 11 - <i>Rankings</i> para fatores de risco para cenários e aplicação piloto.....	94
Quadro 12 – Classificação dos fatores de risco por faixas de corte.....	97
Quadro 13 – Avaliações linguísticas da severidade e ocorrência dos fatores de risco para as simulações.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das agregações das avaliações dos decisores.	86
Tabela 2 – Grau de pertencimento dos fatores de risco para cada classe.	87
Tabela 3 – Ocorrências das classificações por material.....	89
Tabela 4 - Níveis de risco para cada cenário.	92
Tabela 5 – Faixas de corte.....	96
Tabela 6 – Resultados das simulações.	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

ANP - *Analytic Network Process*

CWW - *Computing with Words*

DEA - *Data Envelopment Analysis*

DM – *Decision Maker*

ELECTRE - *ELimination Et Choix Traduisant la Réalité*

HFS - *Hesitant Fuzzy Sets*

HFLPR - *Hesitant Fuzzy Linguistic Preference Relation*

HFLTS - *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set*

HMPR - *Hesitant Multiplicative Preference Relation*

IFS - *Intuitionistic Fuzzy Set*

FIS – *Fuzzy Inference System*

FMEA - *Failure Mode Effect Analysis*

FTA - *Fault Tree Analysis*

FGCM - *Fuzzy Grey Cognitive Maps*

FRBCS – *Fuzzy Rule-Based Classification System*

GDM – *Group Decision Making*

MCDM - *Multi-criteria Decision Making*

OWG - *Ordered Weighted Geometric*

SCRM – *Supply Chain Risk Assessment*

TFHFS - *Triangular Fuzzy Hesitant Fuzzy Sets*

TFHFWA - *Triangular Fuzzy Hesitant Fuzzy Weighted Averaging*

TOPSIS - *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*

VIKOR - *VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Contextualização	25
1.2	Oportunidades de estudo	26
1.3	Objetivos da pesquisa.....	30
1.4	Procedimento de pesquisa.....	30
1.5	Organização do trabalho	32
2	GESTÃO DE RISCOS.....	35
2.1	Aspectos gerais da Gestão de Riscos	35
2.2	Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos	37
2.2.1	Riscos de Fornecimento	44
3	DECISÃO EM GRUPO PARA A AVALIAÇÃO DE RISCOS	49
4	TÉCNICAS FUZZY	57
4.1	Conjuntos fuzzy	57
4.2	<i>Hesitant Fuzzy</i>	59
4.3	<i>Sistema de Inferência Fuzzy</i>	63
4.3.1	<i>Método de classificação baseado em regras Fuzzy</i>	68
5	PROPOSTA DE MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE PRIORIDADE DE RISCOS	73
5.1	Passo 1: Parametrização	74
5.2	Passo 2: Avaliações de severidade e ocorrência	75
5.3	Passo 3: Agregação dos julgamentos	76
5.4	Passo 4: Classificação dos fatores de risco	76
6	APLICAÇÃO PILOTO DO MODELO COMPUTACIONAL	79
6.1	Descrição da empresa.....	79
6.2	Decisores	80
6.3	Fatores de risco avaliados.....	80

6.4	Passo 1: Parametrização.....	82
6.5	Passo 2: Avaliações linguísticas de severidade e ocorrência.....	84
6.6	Passo 3: Agregação dos julgamentos.....	86
6.7	Passo 4: Classificação dos fatores de risco.....	86
6.8	Análise dos Resultados.....	87
6.9	Análises de sensibilidade.....	89
7	CONCLUSÃO.....	103
7.1	LIMITAÇÕES DE PESQUISA.....	105
7.2	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	106
	REFERÊNCIAS.....	107
	APÊNDICE A – IMAGENS DO WEBSITE PARA COLETA DE DADOS.....	122

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização do tema de pesquisa e as oportunidades de estudo que motivaram o desenvolvimento desta pesquisa. O capítulo apresenta também os procedimentos utilizados para atingir os objetivos e o modo como o trabalho foi organizado.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Organizações de todos os tipos precisam lidar com riscos inerentes à suas atividades para atingir seus objetivos. Neste sentido, a gestão de riscos é um processo de tomada de decisão que pode auxiliar a análise das probabilidades de fatores de risco afetar os objetivos organizacionais (*International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission* [ISO/IEC-31010], 2009). Fatores de risco são modos de falha de: um subsistema ou componente de um produto, um processo de negócio ou fabricação, entre outros, que podem prejudicar o cumprimento dos objetivos organizacionais (Liu, Martínez, Wang, Rodríguez, & Novozhilov, 2010).

Com o intuito de controlar e mitigar os efeitos negativos dos riscos, a Gestão de Riscos na Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Risk Management* - SCRM) é estudada na literatura, utilizada nas organizações (Ho, Zheng, Yildiz, & Talluri, 2015; Manuj; Mentzer, 2008) e vem sendo abordada em diversas situações (Senthil, Muruganathan, & Ramesh, 2017; Tummala & Schoenherr, 2011; Chopra & Sodhi, 2004; Hallikas, Karvonen, Pulkkinen, Virolainen, & Tuominen, 2004). Além disso, Tang (2006) afirma que o SCRM deve construir um bom sistema de seleção e avaliação de fornecedores, de maneira a aumentar a robustez do suprimento. Ainda assim, Senthil et al. (2017) afirmam que as cadeias de suprimentos estão cada vez mais vulneráveis a interrupções de fornecimento. De acordo com Basu et al. (2007), problemas com fornecedores causam grandes consequências, devido a sua posição importante na cadeia de suprimentos. Neste sentido, Xiao, Chen e Li (2011) destacam os riscos de fornecimento como uma área importante dos riscos das cadeias de suprimentos. A gestão de fornecedores é uma atividade que contribui para a melhoria da eficácia e eficiência de cadeias produtivas. Muitos fatores de risco podem ameaçar sistemas de produção, comprometendo a participação no mercado, aumentando custos de escala e diminuindo a satisfação dos clientes (Venkatesh, Rathi, & Patwa, 2015).

O processo de gestão de riscos possui etapas de identificação de riscos, avaliação de riscos e mitigação de riscos (Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], 2018; Ho et

al., 2015; Sodhi, Son, & Tang, 2012; Sodhi & Tang, 2012; ISO/IEC-31010, 2009). Dentre elas, a etapa de avaliação de riscos é destacada na literatura devido à quantidade de trabalhos que abordam o SCRM (Ho et al., 2015). Estudos relacionados a avaliação de riscos no SCRM possuem um importante papel para as organizações reagirem de maneira apropriada aos fatores de riscos (Munir, Jajja, Chatha & Farooq, 2020; Kauppi, Longoni, Caniato, & Kuula, 2016). Neste sentido, esta etapa é essencial para que haja uma alocação adequada dos recursos da organização para o tratamento dos riscos mais críticos (Tummala & Schoenherr, 2011). A avaliação de riscos busca mensurá-los de acordo com sua probabilidade de acontecer e a severidade de suas consequências, de modo que seja possível priorizar os riscos com maior importância (Jamshidi, Ait-kadi, Ruiz, & Rebaiaia, 2018; Ho et al., 2015; Tummala & Schoenherr, 2011).

Diversas ferramentas vêm sendo evidenciadas na literatura para subsidiar o processo de avaliação de riscos em diferentes áreas de aplicação. Dentre as técnicas frequentemente aplicadas, pode-se citar: *Fault Tree Analysis* (FTA) (Khan & Haddara, 2004); *Decision Tree Approach* (Ezell, Bennett, Von Winterfeldt, Sokolowski, & Collins, 2010); *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) (Liu, Liu, & Liu, 2013); e Métodos de Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision-Making* - MCDM), tais como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Chen; Wu, 2013), *Analytic Network Process* (ANP) (Zammori & Gabbrielli, 2011), *Grey Relational Analysis* (Geum, Cho, & Park, 2011), dentre outras técnicas (Supply Chain Risk Leadership Council, 2011; ISO/IEC-31010, 2009). De acordo com de Almeida, Alencar, Garcez, & Ferreira (2017), MCDMs tem sido cada vez mais aplicados no contexto de gestão de riscos.

1.2 OPORTUNIDADES DE ESTUDO

No contexto apresentado na seção anterior, foram encontradas cinco principais oportunidades de pesquisa para serem exploradas. A primeira delas está relacionada a imprecisão presente nas avaliações dos especialistas. Segundo Keshavarz Ghorabae, Amiri, Zavadskas e Antucheviciene (2017), a incerteza pode estar presente no processo de avaliação realizado pelo julgamento humano ou resultante da escassez de dados. De acordo com Zadeh (1999), *Computing with Words* (CWW), é necessário quando a informação disponível não é precisa o suficiente para justificar o uso de números. No mesmo estudo, o autor afirma que CWW implica em uma associação da linguagem natural com a computação de variáveis *fuzzy*.

O processo de tomada de decisão envolve julgamentos que avaliam as alternativas segundo múltiplos critérios de comparação. Klibi, Martel e Guitouni (2010), destacam a

necessidade da utilização das técnicas multicritério baseadas na avaliação subjetiva da probabilidade e severidade dos riscos. Dentre MCDMs baseados em CWW para apoiar a avaliação de riscos pode-se citar: *fuzzy* TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) (Carpitella, Certa, Izquierdo, & La Fata, 2018), *fuzzy* VIKOR (*ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) (Mohsen & Fereshteh, 2017), *fuzzy* FMEA, *fuzzy* AHP e *fuzzy* MULTIMOORA (Fattahi & Khalilzadeh, 2018), entre outras. Além dos MCDMs, abordagens de inteligência artificial, principalmente o *Fuzzy Inference System* (FIS), vem recebendo uma grande quantidade de estudos na literatura de avaliação de riscos (Liu et al. 2013). Abordagens baseadas na teoria *fuzzy* e suas generalizações, são importantes para apoiar o processo de decisão a partir de informações imprecisas ou incompletas (Zadeh, 1973). Dentre as generalizações da teoria *fuzzy* no contexto de avaliação de riscos, pode-se citar: o *fuzzy 2-tuple*, o qual permite realizar processo de agregação sem perdas de informação (Chang, 2015); o *intuitionistic fuzzy set* (IFS), o qual pode representar a imprecisão presente nas avaliações de maneira mais detalhada uma vez que leva em conta o grau de pertencimento e o grau de não-pertencimento dos números *fuzzy* (Liu, Liu, & Li, 2014); e o *hesitant fuzzy linguistic term set* (HFLTS), o qual permite que os tomadores de decisão ativem mais de um termo linguístico durante sua avaliação (Chang, Weng, & Chung, 2018). O HFLTS é uma representação linguística mais recente em relação às outras generalizações dos conjuntos *fuzzy*, foi proposto por Rodríguez, Martínez, Torra, Xu e Herrera (2014) e é capaz de representar informações linguísticas de forma mais coerente com a linguagem natural, uma vez que considera a hesitação dos tomadores de decisão.

A segunda oportunidade de estudo trata do processo de tomada de decisão em grupo (*Group Decision Making* - GDM), o qual vem crescendo nos últimos anos em relação a quantidades de estudos que abordam o tema (Kabak & Ervural, 2017). Nesta direção, Almeida et al. (2017) confirmam que modelos de GDM para apoiar a avaliação de riscos também tem recebido maior atenção da academia nos últimos anos. Ainda assim, os autores afirmam que a maioria desses estudos não consideram o processo da tomada de decisão em grupo. Porém, o processo de avaliação de riscos deve ser obtido por meio da tomada de decisão em grupo (Chaudhuri, Mohanty, & Singh, 2013; Rezakhani, 2012). Neste sentido, Wang, Stöblein e Kan (2010) apontam razões para utilizar diversos especialistas para avaliar riscos, entre elas: integrar conhecimento e habilidades de diferentes pessoas; compartilhar pontos de vista e opiniões sobre os riscos; e informar e envolver *stakeholders* para o processo de tomada de decisão. Além disso, os autores destacam que existe dificuldade em selecionar métodos de decisão capazes de

agregar informação carregadas de incerteza durante o GDM. Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2014) afirmam que as decisões de compra são influenciadas por múltiplos decisores de diferentes áreas funcionais de uma organização e com variado conhecimento técnico. Portanto, a abordagem adotada para o processo de decisão sobre priorização de riscos de suprimento deve considerar o processo de tomada de decisão em grupo de forma adequada. Neste sentido, Rodríguez et al. (2014) apontam que os conjuntos *hesitant fuzzy* vem sendo aplicados para a tomada de decisão em grupo. Galo, Calache e Carpinetti (2018) destacam que o uso dos conjuntos *hesitant fuzzy* é capaz de considerar a incerteza envolvida no julgamento dos tomadores de decisão, bem como a possibilidade dos mesmos hesitar durante sua avaliação. Além disso, de acordo com Arantes e Carpinetti (2019), o *hesitant fuzzy linguistic term set* é umas das representações que vem se destacando nos estudos relacionados a avaliação de riscos considerando o GDM.

A terceira oportunidade está relacionada à necessidade de tratar a compensação e não-compensação de maneira adequada. Apenas um artigo que aborda a questão entre o nível de compensação e não-compensação entre os critérios de avaliação de riscos foi encontrado na literatura. Neste trabalho, Zhang e Chu (2011) destacam que diferentes tipos de aplicação possuem um valor ideal para o nível de compensação entre os critérios de avaliação de riscos. Deste modo, ainda não foram encontrados estudos que abordam a questão do nível apropriado de compensação entre os critérios de avaliação de riscos para o contexto de suprimentos. Neste sentido, destaca-se a situação na qual fatores de risco com valores de severidade muito altos podem ser compensados por valores de ocorrência muito baixos. Basu et al. (2007) realizaram um levantamento sobre grandes perdas que empresas multinacionais tiveram devido a problemas que envolviam sua cadeia de suprimentos. Neste trabalho, os autores citaram: o caso da Eriksson, no ano 2000, que perdeu 390 milhões de dólares em vendas devido a um acidente com fogo de um fornecedor; o caso da Boeing, no ano 1997, que perdeu 2.6 bilhões de dólares devido à escassez de matéria-prima; o caso da Toyota, que em 1997 interrompeu sua produção por 20 dias devido a um incêndio envolvendo seu fornecedor; e o caso da Nike, que em 2000 teve um prejuízo de 100 milhões de dólares em vendas devido a um erro de planejamento de demanda. Em 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou o surto da doença causada pelo novo coronavírus (COVID-19) como uma pandemia. Tal surto abalou toda a economia mundial, de modo que diversas restrições de transporte e de funcionamento das empresas foram impostas pelos governos locais visando controlar a disseminação da doença.

Esses casos apontam que um fator de risco que possua uma severidade catastrófica, mesmo que tenha uma baixíssima ocorrência, precisa receber atenção. Desta forma, existe a necessidade de se considerar que os níveis de severidade de um fator de risco possuam um limite máximo, a partir do qual não se possa compensar pelo baixo nível de ocorrência. Para lidar com essa situação, o um FIS aplicado utilizando-se de uma base de regras que considere a não-compensação, é capaz de priorizar os riscos em um processo não-compensatório, quando necessário. Além disso, FIS vem se revelando como uma ferramenta útil para apoiar a priorização de riscos, conforme observado na literatura, porém sem levar em conta a necessidade de agregações não-compensatórias dos critérios de avaliação (Geramian, Mehregan, Garousi Mokhtarzadeh, & Hemmati, 2017; Liu, et al. 2013; Elsayed, 2009; Sharma, Kumar, & Kumar, 2005).

A quarta oportunidade considera a importância de classificar riscos em classes pré-definidas, uma vez que isso permite uma visualização fácil e eficiente quando se considera uma grande quantidade de fatores de risco (Certa, Enea, Galante, & La Fata, 2017). Em uma revisão da literatura buscando propostas de modelos para classificação de riscos baseados em sua severidade e ocorrência, apoiados pelo FIS, não foram encontradas publicações em periódicos que utilizam termos linguísticos como *input* das avaliações dos riscos para o FIS. Além disso, foram encontrados apenas estudos classificam riscos por meio de “faixas de corte”, ou seja, classificam os riscos com base em intervalos de valores no qual a saída numérica do FIS se encaixa. Apesar de existirem sistemas de classificação baseado em regras *fuzzy* (*Fuzzy Rule-Based Classification System – FRBCS*), nenhum deles foram utilizados para avaliar riscos a partir de sua severidade e ocorrência.

Finalmente, a quinta oportunidade de pesquisa decorre da carência de estudos que utilizem dados de um caso real na gestão de riscos da cadeia de suprimentos. Em uma revisão sistemática da literatura, Ho et al. (2015) analisaram 224 publicações relacionadas com SCRM entre 2003 e 2013. O estudo mostrou que existem poucas publicações sobre aplicações de modelos e abordagens do SCRM utilizando-se dados de um caso real.

Analisando-se o atual estado da arte, percebe-se que não existe um modelo que contemple, simultaneamente, todas as oportunidades de estudos identificadas. Em outras palavras, existe a oportunidade de proposição de um modelo que aborda o processo de classificação de riscos de fornecimento: a partir do julgamento em grupo; que leve em conta a imprecisão e hesitação presente no julgamento dos especialistas; utilizando-se um método de

classificação baseado em regras *fuzzy*; e tratando a compensação e não-compensação de maneira adequada.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral da presente dissertação de mestrado é propor um modelo para processo de classificação de prioridade de riscos de fornecimento a partir do julgamento de múltiplos especialistas. A proposta do modelo inclui o uso da representação linguística *hesitant fuzzy* para modelar matematicamente a hesitação dos decisores durante o processo de julgamento em grupo e o FRBCS para classificar cada fator avaliado de maneira compensatória e não-compensatória quando necessário. Também é parte do objetivo desta dissertação, a realização de uma aplicação piloto da proposta em uma empresa do setor químico.

Esse objetivo geral pode ser desdobrado nos seguintes objetivos intermediários:

- I. Revisão detalhada da literatura relacionada às principais dificuldades encontradas na etapa de avaliação de riscos e sobre as técnicas propostas para priorização;
- II. Detalhamento da proposta de modelo baseado nas técnicas estudadas;
- III. Implementação computacional da proposta;
- IV. Aplicação piloto em uma organização e análise de resultados.

1.4 PROCEDIMENTO DE PESQUISA

A presente pesquisa pode ser considerada como quantitativa axiomática prescritiva. Quantitativa por ter como base, para o desenvolvimento do modelo, a linguagem matemática e computacional; axiomática, pois sua principal preocupação é a obtenção de soluções dentro do modelo definido que ofereçam esclarecimentos sobre a estrutura do problema; e prescritiva devido ao objetivo de propor um modelo do processo de decisão para melhorar os resultados existentes na gestão de riscos de fornecimento. (Karlsson, 2016; Bertrand & Fransoo, 2002). A Figura 1 a seguir ilustra principais etapas para o desenvolvimento da pesquisa.

Figura 1- Principais etapas para o desenvolvimento da pesquisa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Etapa 1 trata-se do refinamento das motivações de pesquisa. A partir de uma revisão da literatura mais abrangente, voltada para a avaliação de riscos na cadeia de suprimentos, foi possível identificar oportunidades de estudo e definir objetivos. A partir da definição inicial dos objetivos, foi possível realizar a Etapa 2, ou seja, um aprofundamento teórico mais específico sobre: gestão de riscos, gestão de riscos de fornecimento, tomada de decisão em grupo, teoria *fuzzy* clássica, HFLTS, FIS e FRBCS.

Por meio do aprofundamento teórico relacionado os temas pesquisados na Etapa 2 foi possível propor um modelo de decisão a partir da combinação das técnicas estudadas, objeto da Etapa 3. A Etapa 4 trata-se do desenvolvimento computacional do modelo proposto e sua aplicação piloto. O modelo computacional foi desenvolvido por meio do *software* Matlab® versão R2015a. Para realizar a aplicação piloto foi necessário encontrar uma organização disposta a ceder os dados necessários, bem como planejar o método de coleta de dados, criar um Google *site* e entrevistar os especialistas. Finalmente, a Etapa 5 trata de analisar os resultados obtidos na Etapa 4, além de realizar análises de sensibilidade das técnicas empregadas no modelo. Deste modo, foi possível realizar uma análise crítica sobre o modelo proposto, bem como destacar suas vantagens e limitações.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos, brevemente descritos a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: O primeiro capítulo introduz o tema a partir da contextualização do problema de pesquisa, da apresentação do estado da arte e das oportunidades de estudo para serem exploradas. Adicionalmente, são apresentados os objetivos e os procedimentos de pesquisa;

Capítulo 2 – Gestão de riscos: O segundo capítulo é composto por seções que abordam os temas relacionados à gestão de riscos, gestão de riscos da cadeia de suprimento e gestão de riscos de fornecimento.

Capítulo 3 – Tomada de decisão em grupo para a avaliação de riscos: O terceiro capítulo apresenta os procedimentos e resultados de uma revisão sistemática da literatura relacionada a técnicas de decisão em grupo utilizadas para a avaliação de riscos;

Capítulo 4 – Técnicas *Fuzzy*: O quarto capítulo fundamenta a proposta da combinação de técnicas utilizadas nesta dissertação por meio do detalhamento das técnicas *fuzzy* utilizadas. Desta maneira, os seguintes tópicos compõem o capítulo: Teoria dos conjuntos *fuzzy*, *hesitant fuzzy*, FIS e FRBCS;

Capítulo 5 – Proposta de modelo de classificação de prioridade de riscos: O quinto capítulo apresenta a proposta e o detalhamento das etapas de um modelo quantitativo de decisão em grupo voltado para a priorização de riscos de fornecimento, considerando a incerteza e a hesitação no processo de julgamento humano;

Capítulo 6 – Aplicação piloto do modelo computacional: O sexto capítulo apresenta a aplicação piloto do modelo computacional por meio da coleta de dados em uma empresa do setor químico. Além disso foram realizadas análises relacionadas aos resultados obtidos, bem como análises de sensibilidade;

Capítulo 7 – Conclusão: Finalmente, o sétimo capítulo apresenta as conclusões, bem como as dificuldades e as sugestões para estudos futuros.

2 GESTÃO DE RISCOS

Este capítulo apresenta os aspectos gerais da gestão de riscos, da gestão de riscos da cadeia de suprimentos. Além disso, um detalhamento mais aprofundado relacionado a avaliação de riscos de fornecimento foi realizado para fomentar a elaboração e o entendimento do modelo proposto nesse trabalho.

2.1 ASPECTOS GERAIS DA GESTÃO DE RISCOS

A gestão de riscos pode ser estruturada como na forma apresentada pela Figura 2, sendo seus principais elementos: estabelecimento do contexto, avaliação de riscos, tratamento de riscos, monitoramento. A avaliação de riscos (*risk assessment*), por sua vez, é composta pelas etapas de identificação de riscos, análise de riscos e avaliação de riscos (*risk evaluation*) (Abdel-Basset, Gunasekaran, Mohamed, & Chilamkurti, 2019; ABNT, 2018; Mahdevvari, Shahriar, Esfahanipour, & 2014; Liu, et al. 2010; ISO/IEC-31010, 2009).

Figura 2– Principais elementos da Gestão de Riscos.

Fonte: Adaptado da NBR ISO 31000/2018.

O processo de gestão de riscos inicia-se com o estabelecimento do contexto. Nesta etapa os objetivos e os critérios da análise são definidos, além da elaboração do escopo de suas atividades, de modo a determinar os limites do processo de gestão de riscos (ABNT, 2018; Mahdevvari, Shahriar, & Esfahanipour, 2014). Após estabelecer o contexto, o processo de avaliação de riscos é iniciado. De acordo com Liu et al. (2010), a avaliação de riscos é um

elemento chave do processo de gestão de riscos e é um conjunto de todas as atividades necessárias antes de métodos de redução de riscos serem implementados. Os autores destacam também que o objetivo da avaliação de riscos é identificar os fatores de risco, prover informação o suficiente para levantar alertas e propor medidas de mitigação.

A primeira etapa da avaliação de riscos (*risk assessment*) é a identificação de riscos. De acordo com Kern, Moser, Hartmann e Moder (2012), identificar riscos adequadamente oferece suporte para a análise e avaliação dos riscos (*risk evaluation*), de maneira a conduzir uma mitigação mais eficaz dos mesmos. Neste sentido, Maytorena, Winch, Freeman e Kiely (2007) afirmam que sem a identificação de riscos, eles não poderão ser analisados e geridos. De acordo com a NBR ISO 31000/2018, a identificação de riscos busca encontrar, reconhecer e descrever os fatores de risco considerando causas, eventos, vulnerabilidades, indicadores de riscos emergentes, ameaças, limitações de conhecimento, confiabilidade da informação, entre outros aspectos. A norma ISO/IEC-31010 (2009) sugere diversas técnicas que podem ser utilizadas para a identificação de riscos, entre elas: *brainstorming*, *delphi*, *check-lists*, árvore de causas, árvore de eventos, matriz de probabilidades e consequências, entre outras.

Na sequência, a análise de riscos trata de reunir mais informações relacionadas aos fatores de risco, para promover um maior entendimento acerca deles. Nesta análise, características como a probabilidade de os eventos acontecerem, a dimensão de suas consequências, níveis de confiança e incertezas são consideradas para determinar o nível de risco, porém ela pode ser influenciada por divergências de opiniões e julgamentos de especialistas (ABNT, 2018). Ainda assim, uma análise totalmente quantitativa das consequências e probabilidades pode não ser possível devido a uma quantidade insuficiente de informações sobre o sistema, falta de dados, influência de fatores humanos, entre outros (ISO/IEC-31010, 2009).

Com uma maior compreensão das características dos fatores de risco e seus respectivos níveis de risco determinados, pode-se prosseguir para a etapa de avaliação de riscos (*risk evaluation*). Nessa etapa, o foco é oferecer suporte para a tomada de decisões sobre quais riscos precisam ser mitigados e quais são prioritários, por meio da comparação dos níveis dos fatores de risco determinados na etapa anterior (ABNT, 2018; ISO/IEC-31010, 2009). Como já discutido nas seções anteriores, diversas técnicas são discutidas na literatura para apoiar a avaliação de riscos. Dentre essas diversas ferramentas, encontra-se a matriz de riscos, ilustrada pela Figura 3. Para Markowski e Mannan (2008) a matriz de riscos é um mecanismo semi-quantitativo que pode caracterizar e ranquear riscos de maneira subjetiva. Os autores afirmam

também que a base da ferramenta é a combinação dos níveis de severidade das consequências dos fatores de risco com a frequência em que eles ocorrem. Além disso, segundo a ISO/IEC-31010 (2009), a matriz de riscos também é amplamente utilizada para determinar se o nível de risco é aceitável ou não.

Figura 3 – Exemplo de matriz de riscos.

Frequência	Muito Alta	Médio	Alto	Alto	Alto
	Alta	Médio	Médio	Alto	Alto
	Média	Baixo	Médio	Médio	Alto
	Baixa	Baixo	Baixo	Médio	Médio
	Muito Baixa	Baixo	Baixo	Alto	Médio
		Baixa	Moderada	Crítica	Catastrófica
		Severidade das consequências			

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a NBR ISO 31000/2018, a etapa de mitigação de riscos é um processo cíclico o qual envolve: (1) formular e selecionar opções para tratamento do risco; (2) planejar e implementar o tratamento do risco; (3) avaliar a eficácia deste tratamento; (4) decidir se o risco remanescente é aceitável; (5) se não for aceitável, realizar tratamento adicional. Como a etapa de tratamento de riscos só ocorre após a avaliação de riscos, o presente trabalho não irá abordar o detalhamento de suas etapas.

2.2 GESTÃO DE RISCOS DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Diversos fatores de risco ameaçam sistemas de produção, de maneira a comprometer indicadores como participação do mercado, custos de escala e satisfação dos clientes (Venkatesh, et al. 2015). Neste contexto, estudos relacionados à SCRM têm recebido maior importância nos últimos anos (Ho et al., 2015; Tang & Musa, 2011). Assim como o processo tradicional da gestão de riscos, discutido na seção anterior, o SCRM também envolve as etapas de identificação de riscos, avaliação de riscos, mitigação (tratamento) de riscos e monitoramento de riscos (Ho et al., 2015).

Diferentes estudos classificam os riscos que podem afetar a cadeia de suprimentos em diferentes categorias. Alguns autores os classificam em duas categorias (Sodhi, et al., 2012; Tang, 2006). A primeira trata dos riscos catastróficos, os quais consideram desastres naturais (*tsunamis*, terremotos, furacões, etc.) e desastres feitos pelo homem (guerras, terrorismo, instabilidade política, etc.). A segunda categoria é referente aos riscos operacionais, os quais

consideram incertezas em relação a demanda dos clientes, fornecimento e custo. De maneira similar, Wu e Olson (2010) alocam os riscos nas categorias de riscos internos e externos. Deste modo, riscos internos estão relacionados a riscos de capacidade disponível, operações internas e sistemas de informações. Os riscos externos consideram riscos de natureza, sistema político e competidores e mercado. Wagner e Bode (2008) classificam os riscos das cadeias de suprimentos em cinco categorias, sendo elas: riscos de demanda, riscos de suprimentos, riscos legais e burocráticos, riscos de infraestrutura e riscos catastróficos. Deste modo, os dois primeiros estão mais relacionados aos riscos internos da cadeia, enquanto os três últimos estão mais relacionados a fontes de risco não necessariamente internas da cadeia (Wagner; Bode, 2008).

Chopra e Sodhi (2004) discriminam os riscos das cadeias de suprimentos nas categorias de: interrupção, atrasos, sistemas, previsão, propriedade intelectual, compras, contas a receber, inventário e capacidade. Analogamente, Tummala e Schoenherr (2011) classificaram os riscos que afetam a cadeia de suprimentos como riscos de: demanda, atraso, interrupção, inventário, fabricação, planta física (capacidade), compras, sistema, governança e transporte.

Em uma revisão mais recente da literatura sobre a gestão de riscos da cadeia de suprimentos, Ho et al. (2015) elaboraram um *framework* conceitual dos riscos da cadeia de suprimentos de maneira que foi possível sintetizar e detalhar as classificações propostas em estudos anteriores. Desta maneira, a Figura 4 apresenta o *framework* proposto pelos autores.

Figura 4 – Framework dos riscos da cadeia de suprimento.

Fonte: Adaptado de Ho et al. (2015).

De acordo com Ho et al. (2015), riscos em cadeia de suprimentos se relacionam à probabilidade e o impacto de um evento inesperado ou condições que influenciam negativamente qualquer parte da cadeia de suprimentos que levam a falhas ou irregularidades operacionais, táticas ou estratégicas. O *framework* proposto apresenta diferentes classificações dos tipos de riscos e facilita o entendimento dos fatores de risco que alavancam cada um deles. Os riscos podem ser classificados em 5 tipos: Fornecimento, Fabricação, Demanda, Infraestrutura (riscos de informação, financeiros e transporte) e Macro. Na revisão apresentada pelos autores, foram analisados 14 estudos que discutem diversos fatores de risco, classificados de acordo com os cinco tipos de riscos. Esses fatores de risco são apresentados no Quadro 1. Além disso, o *framework* aponta as quatro principais etapas para o SCRM, entre elas: identificação dos riscos, avaliação dos riscos, seleção e implementação de estratégias de mitigação e melhoria contínua e monitoramento.

Quadro 1 – Classificação dos fatores de risco de acordo com a o framework proposto por Ho et al. (2015).

Macro	Micro					
	Demanda	Fabricação	Infraestrutura			
			Suprimento	Informação	Transporte	Financeiro
Desastre natural	Erros de previsão	Disputas trabalhistas/ Greve	Inabilidade para lidar com grandes mudanças de volume da demanda	Colapso da estrutura de informação	Manuseio excessivo devido à atravessar fronteiras em modais de transporte	Taxa de câmbio
Guerra e terrorismo	Erros grotescos de previsão	Acidentes de trabalho	Falhas de atingir requisitos de entrega	Integração de sistema ou sistemas de comunicação extensos	Falta de eficácia na saída	Flutuações da moeda
Acidentes com fogo	Efeito chicote	Ausência de operador	Não pode oferecer preço competitivo	<i>e-commerce</i>	Fragmentação das transportadoras	Nível da taxa de juros
Instabilidade política	Incerteza da demanda	Insatisfação com trabalho	Tecnologicamente atrás dos competidores	Atraso de informações	Sem alternativas para soluções de transporte	Mudança de salários
Queda da economia	Aumento repentino	Falta de experiência ou treinamento	Inabilidade de atingir requisitos da qualidade	Falta de transparência de informações entre marketing e logística	Entregas dentro do tempo e do orçamento	Força financeira dos clientes

Quadro 1 – Classificação dos fatores de risco de acordo com a o *framework* proposto por Ho et al. (2015) (continuação).

Macro	Micro					
	Demanda	Fabricação	Infraestrutura			
			Suprimento	Informação	Transporte	Financeiro
Problemas jurídicos externos	Variabilidade da demanda	Pausas insuficientes	Falência de fornecedor	Falta de compatibilidade entre tecnologia da informação e plataformas com parceiros da cadeia	Danos durante transporte	Flutuação dos preços
Riscos de governança	Fragmentação de clientes	Condições de trabalho	Fonte única de fornecimento	Segurança de internet	Acidentes durante transporte	Custo do produto
Instabilidade regional	Alto nível de serviço requerido	Obsolescência de produto	Pequena base de fornecimento		Ataque pirata marítimo	Problemas financeiros e de seguros
Regulamentações governamentais	Dependência de clientes	Custo de manutenção de estoque	Dependência de fornecedores		Roubo em rodovias remotas	<u>Lead Time</u> para processos internos e seu custo em dinheiro
Desavenças sociais ou culturais	Perda de cliente ou cliente deficiente	Estoque controlado pela cadeia de suprimentos	Responsividade de fornecimento		Estresse da equipe de transporte	Períodos de crédito para contas a receber e coleta antecipada de contas recebíveis

Quadro 1 – Classificação dos fatores de risco de acordo com a o *framework* proposto por Ho et al. (2015) (continuação).

Macro	Micro					
	Demanda	Fabricação	Infraestrutura			
			Suprimento	Informação	Transporte	Financeiro
	Gestão de relacionamento com clientes deficiente ou inexistente	Propriedade de inventário	Alta capacidade de utilização de fonte única de fornecimento		Falta de treinamento	Períodos de crédito para contas a pagar pelos seus fornecedores e pagamento antecipado de contas a pagar
	Lead times curtos	Inventário enxuto	Terceirização Global		Longos turnos de trabalho	Tamanho de mercado
	Produtos com pequeno ciclo de vida	Flexibilidade de produção	Pequeno número de fornecedores intermediários		Manutenção negligenciada	Perda de contrato
	Movimentos dos competidores	Capacidade/capabilidade de produção	Falta de integração com fornecedores		Tecnologia antiga	Crescimento de mercado
	Mudanças de competição	Qualidade e segurança dos produtos	Falta de visibilidade dos fornecedores		Quebra do transporte	Baixa margem de lucro
	Mudanças de mercado	Recursos de tecnologia e informação	Gestão de fornecedores		Greves no porto	
	Grande compensação do mercado	Engenharia e inovação	Força de mercado do fornecedor		Contatos globais de terceirização	

Quadro 1 – Classificação dos fatores de risco de acordo com a o *framework* proposto por Ho et al. (2015) (continuação).

Macro	Micro					
	Demanda	Fabricação	Infraestrutura			
			Suprimento	Informação	Transporte	Financeiro
	Produção interna baixa	Baixo tempo de vida de produtos	Oportunismo do fornecedor		Complexidade da cadeia de suprimentos	
	Erro de preenchimento de pedido	Fases ligadas de fabricação	Monopólio		Congestão ou falta de capacidade do porto	
		Interrupção de fornecimento de depósito ou produção	Seleção de parceiro errado		Folgas personalizadas nos portos	
		Processos de fabricação instáveis	Variabilidade do tempo em trânsito		Papelada e cronogramas	
		Estoque centralizado de produtos acabados	Acordos contratuais		Altos custos de transporte	
		Mudanças de <i>design</i>	Baixa confiabilidade técnica			
		Mudanças de tecnologia	Erro de preenchimento de fornecedores			
			Aumento repentino de custos			

Fonte: Adaptado de Ho et al. (2015).

2.2.1 RISCOS DE FORNECIMENTO

A avaliação de riscos de fornecimento vem atraindo muita atenção em relação aos outros quatro tipos de risco da cadeia de suprimentos (Fabricação, Demanda, Infraestrutura e Macro) (Ho et al., 2015). Os fornecedores são parte essencial da cadeia de suprimentos (Hu & Dong, 2019). Xiao, Chen e Li (2011) afirmam que devido ao aumento da competição entre as cadeias de suprimento, as organizações estão mais expostas a riscos e pesquisas relacionadas aos de fornecimento estão entre as áreas mais importantes desse contexto. Além disso, Keshavarz Ghorabae et al. (2017) mostram que a quantidade de estudos relacionados a técnicas para apoiar a seleção de fornecedores vem aumentando constantemente nos últimos anos.

Dentre os fatores de risco apresentados no Quadro 1, diversos deles podem comprometer os objetivos de fornecimento ou compras das organizações. Dentre eles, é possível perceber que uma parte significativa está atrelada a requisitos que se esperam dos fornecedores. Em outras palavras, esses fatores de risco estão relacionados a um desempenho abaixo do esperado em relação às características ou requisitos dos fornecedores. Para Lima-Junior et al. (2013) organizações compradoras devem estabelecer critérios de decisão que expressem claramente os seus requisitos para selecionar seus fornecedores. Osiro, Lima-Junior e Carpinetti (2014) realizaram uma revisão da literatura em relação aos critérios de seleção dos fornecedores, os quais podem ser observados no Quadro 2 abaixo:

Quadro 2 – Critérios de seleção de fornecedores.

Dimensão de performance	Critério
Performance Financeira	Capacidade financeira
	Preço
Performance Logística	Entrega
	Flexibilidade
	Localização Geográfica
	Capacidade reversa
	Custos logísticos
	Nível de serviço
Fatores culturais e organizacionais	Compatibilidade de culturas organizacionais
	Pressão competitiva
	Sistema de avaliação e certificação

	Gestão e organização
	Objetivo estratégico do fornecedor
	Educação e treinamento
Melhoria e gestão da qualidade	Compromisso com a melhoria e redução de custos
	Resolução de problemas
	Qualidade do produto
	Suporte no pós-vendas e paciência
Sustentabilidade	Efeitos ambientais e ações preventivas
	Reputação por integridade
	Segurança do trabalho
Capacidade tecnológica	Capacidade de <i>design</i> e desenvolvimento
	Capacidade de manufatura
	Capacidade tecnológico
Confiança e compartilhamento de informações	Facilidade de comunicação
	Relação de longo prazo
	Arranjo recíproco
	Apoio da alta gestão
	Confiança
	Boa vontade para dividir informações

Fonte: Adaptado de Osiro et al. (2014).

Os critérios de seleção expressos no Quadro 2 podem ser tratados como fatores de risco de fornecimento relacionados aos requisitos dos fornecedores. Além destes, existem também fatores de risco não relacionados às características dos fornecedores, como: riscos relacionados ao mercado que o fornecedor se encontra, riscos de transporte e riscos macro que podem afetar o fornecimento das organizações. Esses fatores de risco coletados em diversos estudos e foram sintetizados no Quadro 3 a seguir (Alikhani, Torabi, & Altay, 2019; Tobari, Baghersad, & Mansouri, 2015; Ho et al., 2015; Wagner & Bode, 2008).

Quadro 3 – Fatores de risco externos ao fornecedor que afetam o fornecimento.

Tipos de Riscos	Fatores de risco
Riscos de Transporte	Danos durante o transporte
	Acidentes durante o transporte
	Ataque pirata marítimo
	Roubo na rodovia
	Quebra do transporte
	Greves portuárias
	Capacidade do porto ou congestionamento
	Altos custos de transporte
	Falta de alternativas de transporte
Riscos Macro	Desastres naturais
	Biológicos e epidemias
	Diversidades Geográficas
	Greve dos funcionários
	Guerra ou terrorismo
	Acidentes com fogo
	Instabilidade política
	Recessões econômicas
	Problemas legais externos
	Instabilidade regional
	Regulações governamentais
	Conflitos sociais e culturais

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como explicitado na seção 2.1, a compreensão do contexto da organização é essencial para apoiar a gestão de riscos, uma vez que deve ser utilizado para se definir seus objetivos, critérios e escopo. Deste modo, a definição do contexto culmina em uma melhor compreensão dos fatores de risco que podem comprometer o desempenho do fornecimento, que por sua vez, apoia a etapa de identificação de riscos (Tummala & Schoenherr, 2011). O processo de gestão de riscos inicia-se com o estabelecimento do contexto. Nesta etapa os objetivos e os critérios da análise são definidos, além da elaboração do escopo de suas atividades, de modo a determinar

os limites do processo de gestão de riscos. Ainda assim, cada um dos fatores de risco de fornecimento pode estar relacionado ao fornecimento de apenas um item específico. Deste modo, um item de compra pode estar relacionado com diversos fatores de risco e ao se considerar inúmeros itens de compra, a lista de fatores de risco pode se estender continuamente. Neste sentido, é importante que seja realizada uma seleção adequada de quais itens devem ser analisados.

Kraljic (1983) propôs um modelo de portfólio de compras o qual é amplamente utilizado nas indústrias (Medeiros; Ferreira, 2018). Esse modelo classifica os itens de compra de acordo com sua importância de compra e com a complexidade do mercado. A importância de compra considera fatores como: custo do material em relação ao custo total do produto, valor adicionado, lucratividade, entre outros. A complexidade do mercado fornecedor considera fatores como: condições de monopólio ou oligopólio, sofisticação tecnológica, barreiras de entrada, custos logísticos, entre outros. Ressalta-se que a dimensão “complexidade de mercado” também é conhecida como “Risco de Fornecimento”. Esta dimensão também pode ser interpretada como uma visão agregada dos variados fatores de risco de fornecimento já discutidos nesta seção. Deste modo, dependendo de como o item se enquadra em cada uma das duas dimensões, ele pode ser classificado entre as categorias de: não-crítico, gargalo, alavancado e estratégico. Neste sentido, os itens estratégicos exigem que suas decisões sejam as mais importantes e requerem um nível maior de detalhamento dos dados de mercado, uma vez que esta classificação se dá quando um item possui alta importância de compra e alta complexidade de mercado (Kraljic, 1983). A matriz de Kraljic e as classificações dos itens de acordo com o nível que o mesmo possui para cada uma das duas dimensões são representadas pela Figura 5 abaixo. Após o estabelecimento do contexto, a escolha dos itens para avaliação e a identificação dos fatores de risco, pode-se prosseguir para o uso das técnicas para avaliação de riscos. Como um dos propósitos do presente trabalho é considerar a avaliação de riscos a partir da tomada de decisão em grupo, a seguinte seção trata de uma revisão sistemática da literatura que aborda o tema.

Figura 5– Matriz de Kraljic.

Fonte: Adaptado de Kraljic (1983).

3 DECISÃO EM GRUPO PARA A AVALIAÇÃO DE RISCOS

De acordo com Gitinavard, Mousavi e Vahdani (2016), o processo de decisão deve considerar o conhecimento de diversos especialistas que dominam diferentes áreas de conhecimento, pois apenas um decisor não consegue reconhecer todos os aspectos importantes de um problema complexo. Além disso, um processo de avaliação de riscos adequado deve ser realizado por meio da tomada de decisão em grupo (Chaudhuri, Mohanty, & Singh, 2013; Rezakhani, 2012). Neste sentido, em uma revisão sistemática da literatura, Almeida et al. (2017) destacaram que modelos de decisão em grupo para a avaliação de riscos vem recebendo mais atenção pelos acadêmicos.

Recentemente alguns estudos investigaram métodos de apoio para a avaliação de riscos. Ho et al. (2015) analisaram métodos qualitativos e quantitativos aplicados para gestão de riscos da cadeia de suprimentos. Renault e Agumba (2016) apresentaram uma revisão da literatura sobre métodos para gestão de riscos utilizados na indústria de construção. Almeida et al. (2017) analisaram métodos de decisão multicritério em diferentes áreas de pesquisa e afirmam que riscos têm sido explorados pela literatura em diversos contextos de aplicação. Ainda assim, não foram encontradas tentativas de revisão de técnicas de decisão em grupo aplicadas para apoiar a avaliação de riscos. Dessa forma, nesta seção será apresentada uma revisão sistemática da literatura voltada para técnicas de decisão em grupo para apoiar a avaliação de riscos em múltiplos contextos de aplicação, com metodologia inspirada nos estudos de Randolph (2009) e Tranfield, Denyer e Smart (2003).

As bases de dados utilizadas para realizar a busca foram: *Scopus* (www.scopus.com) e *Web of Science* (apps.webofknowledge.com). As *strings* de busca utilizadas foram: ("risk assessment" AND "group decision") OR ("risk analysis" AND "group decision") OR ("risk management" AND "group decision"). A Figura 6 ilustra as etapas seguidas para pesquisar e filtrar os artigos obtidos nas bases de dados, os quais são descritos a seguir:

- **Etapla 1:** Inserir *strings* nas duas bases de dados;
- **Etapla 2:** Eliminar resultados duplicados (artigos encontrados em ambas bases de dados);
- **Etapla 3:** Baixar artigos os quais foi possível obter acesso;
- **Etapla 4:** Selecionar apenas artigos relacionados à avaliação do nível fatores de risco;

- **Etapa 5:** Eliminar artigos que não estão relacionados à tomada de decisão em grupo.

Figura 6– Etapas da metodologia de pesquisa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após seguir as cinco etapas, 83 artigos foram selecionados para a revisão, os quais foram classificados de acordo com os seguintes critérios de estratificação:

- **Técnica:** se refere a(s) técnica(s) utilizadas para avaliar o nível dos fatores de risco;
- **Natureza do input:** considera a(s) naturezas(s) dos *inputs* para processar computacionalmente os julgamentos dos tomadores de decisão;
- **Consenso:** analisa se a decisão final em relação às avaliações são obtidas por meio do consenso do grupo ou da agregação dos julgamentos;
- **Contexto de aplicação:** se refere ao contexto de aplicação que o método proposto é aplicado;
- **País:** país(es) da(s) universidade(s) em que o primeiro autor está afiliado;
- **Ano de publicação:** ano em que o artigo foi publicado.

A pesquisa encontrou artigos publicados desde 1996. A Figura 7 a seguir mostra um constante crescimento do número de publicações ao longo dos anos, principalmente a partir de 2011.

Figura 7– Distribuição de publicações ao longo dos anos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, os artigos foram classificados de acordo com o país da universidade a qual o primeiro autor está afiliado. China (36%), Taiwan (11%), Iran (11%) e Turquia (10%) lideram o *ranking* com quase 70% dos estudos considerados. É importante ressaltar que nenhum dos trabalhos revisados são de origem brasileira.

Os 83 artigos analisados neste estudo foram publicados em 61 revistas diferentes, o que mostra uma relativa alta diversidade de revistas, uma vez que mais de 80% delas publicaram apenas um artigo, o que pode indicar a multidisciplinaridade do tema da pesquisa. As seis revistas que possuem maior quantidade de citações, totalizando em quase 30% do total de citações, são respectivamente: *Safety Science*, *Applied Soft Computing*, *Computers & Industrial Engineering*, *Expert Systems with Applications*, *Information Sciences* e *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*.

A Figura 8 a seguir mostra os diferentes contextos de aplicação para as técnicas para avaliação de riscos. Aplicações não relacionadas a nenhum desses contextos, as quais tem apenas uma ocorrência, foram classificadas como “Outros”. Ressalta-se que um artigo pode estar relacionado a um ou mais contextos. As aplicações eram mais frequentes nos contextos de: riscos de tecnologia da informação, riscos de desenvolvimento de novos produtos e riscos de construção.

Figura 8 – Distribuição dos números de citação por contexto de aplicação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 9 abaixo mostra a distribuição de técnicas utilizadas para a avaliação de riscos. Dentre os artigos considerados neste estudo, a técnica AHP é a mais frequente com, 26% das ocorrências, seguida pelo FMEA com 17%, TOPSIS, com 12% e VIKOR, com 5%. Esses resultados confirmam a predominância de modelos MCDM para a avaliação de riscos e tomada de decisão em grupo.

Figura 9 – Distribuição de técnicas utilizadas para a avaliação de riscos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao tipo de tomada de decisão em grupo, a maioria dos estudos aplicam métodos de agregação, que consideram os julgamentos individuais dos especialistas e seus respectivos pesos, como é ilustrado pela Figura 10. Apenas 12% dos artigos revisados utilizaram métodos de consenso que implicam na concordância de todos os especialistas. De acordo com Herrera-Viedma, Herrera e Chiclana (2002), o problema do consenso é que ele apenas aceita os estados de consenso e não consenso. Os autores refletem que as chances de um grupo de especialistas chegar a uma concordância completa é baixa. Outras abordagens para a decisão em grupo compreendem 12% dos estudos (Figura 10) e são baseadas na ideia de minimizar a divergência entre as opiniões dos tomadores de decisão, porém não exigindo a concordância completa do grupo. Ressalta-se, também, que 15% dos artigos revisados não especificam qual foi o método utilizado para obter a decisão final do grupo.

Figura 10 – Distribuição dos métodos de decisão em grupo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A natureza dos *inputs* utilizados para processar os julgamentos dos tomadores de decisão também foram analisadas, como representado pela Figura 11. Estudos que utilizaram apenas representações linguísticas foram classificados como CWW. Analogamente, artigos que utilizaram exclusivamente números foram classificados como *crisp*¹ *values*. Artigos que mesclaram representações linguísticas com números foram classificados como *hybrid*. Pode-se perceber que CWW corresponde a maioria absoluta das naturezas dos *inputs* utilizadas para processar os julgamentos dos tomadores de decisão.

¹ dicotomia (modo de classificação que contém apenas dois termos) (Zimmermann, 2010)

Figura 11 – Distribuição das naturezas dos inputs para processar os julgamentos dos especialistas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

CWW possui diversas maneiras diferentes de computar a linguagem natural. A Figura 12 mostra a distribuição dos tipos de representações linguísticas utilizadas nos artigos. A lógica *fuzzy* clássica proposta por Zadeh (1965) ainda domina a maioria das representações linguísticas. Ainda assim, a Figura 13 mostra que outras representações linguísticas e generalizações dos conjuntos *fuzzy* vem recebendo mais atenção ao longo dos últimos anos.

Figura 12 – Distribuição dos tipos de representações linguísticas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 – Tipos de representações linguísticas utilizadas ao longo dos anos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 TÉCNICAS FUZZY

Este capítulo apresenta as definições básicas dos conjuntos *fuzzy* e um detalhamento conceitual acerca das técnicas que serão utilizadas no modelo proposto. Para isso, primeiro será apresentada uma seção sobre a teoria dos conjuntos *fuzzy*, a seguir é apresentado o *hesitant fuzzy* e finalmente o FIS é explicitado no final deste capítulo.

4.1 CONJUNTOS FUZZY

Zadeh (1965) propôs a teoria de conjuntos *fuzzy*, para lidar com a imprecisão e incerteza (Pourjavad; Shahin, 2018). A lógica tradicional considera apenas dois estados que um elemento pode pertencer a um determinado conjunto: total pertencimento e não pertencimento. Diferente da lógica tradicional, a teoria dos conjuntos *fuzzy* considera que um conjunto *fuzzy* A em um universo de discurso X é definido por um pertencimento $\mu_A(x)$ que associa qualquer elemento x pertencente a X a um número real entre 0 e 1 (Pourjavad & Shahin, 2018; Zadeh, 1965). Um conjunto *fuzzy* em X é definido pela Equação (1) a seguir:

$$\tilde{A} = \{x, \mu_A(x)\}, x \in X \quad (1)$$

Deste modo, um $\mu_A(x)$ igual a zero representa que x tem total não pertencimento ao conjunto; um $\mu_A(x)$ igual a 1 representa que x tem total pertencimento ao conjunto; e para valores entre 0 e 1, diferente da lógica tradicional, significa que x possui um pertencimento parcial ao conjunto (Pourjavad & Shahin, 2018). Liu et al. (2012) afirmam que o conjunto de teorias *fuzzy* possuem vantagem em relação à lógica tradicional para lidar com ambiguidade de conceitos que estão associados à subjetividade presente no julgamento realizado por seres humanos. Além disso, a principal contribuição da lógica *fuzzy* é apresentar uma teoria para computação com palavras (CWW) (Zadeh, 1996). Desta maneira, expressões linguísticas como: “muito bom”, “pouco velho”, “extremamente rápido”, podem ser utilizadas para realizar os cálculos. Neste sentido, Zadeh (1996) afirma que um aspecto chave de CWW é a fusão da linguagem natural com o processamento de variáveis *fuzzy*.

Os números *fuzzy* são constituídos por conjuntos *fuzzy*, os quais são normalizados se pelo menos um dos seus elementos possui grau de pertinência igual a 1 e convexos se respeitarem a seguinte desigualdade, representada pela Equação (2) (Zadeh, 1965):

$$\mu_A(\lambda \cdot x_1 + (1 - \lambda) \cdot x_2) \geq \min\{\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)\}, \text{ onde } x_1 \text{ e } x_2 \in X; \lambda \in [0;1] \quad (2)$$

Segundo Nicoletti e Camargo (2011), os conjuntos *fuzzy* podem ser definidos considerando funções de pertinência. Os autores afirmam também que essas funções podem ser agrupadas em famílias de funções parametrizáveis. Apesar de existirem variadas famílias, as mais utilizadas para a resolução de problemas de apoio à decisão são as trapezoidais e as triangulares (Pourjavad & Shahin, 2018). Uma função de pertinência triangular pode ser obtida por meio da Equação (3) e representada graficamente como na Figura 14. Uma função de pertinência trapezoidal pode ser obtida por meio da Equação (4) e representada graficamente como na Figura 15.

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

Figura 14 – Função de pertinência triangular.

Fonte: Elaborado pelo autor.

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

Figura 15 – Função de pertinência trapezoidal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As operações algébricas entre dois números *fuzzy* triangulares são apresentadas a seguir, das Equações (5) a (8), considerando $\tilde{A} = (l_1, m_1, u_1)$ e $\tilde{B} = (l_2, m_2, u_2)$ (Zimmermann, 2010).

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

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

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

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

As operações algébricas entre um número *fuzzy* triangular $\tilde{A} = (l_1, m_1, u_1)$ e um número real K são apresentadas nas Equações (9) e (10) (Zimmermann, 2010).

$$\textbf{Multiplicação: } K (X) \tilde{A} = (K \times l_1, K \times m_1, K \times u_1), \quad l_1 \geq 0 \text{ e } K \geq 0 \quad (9)$$

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

4.2 HESITANT FUZZY

A teoria dos conjuntos *hesitant fuzzy* (*Hesitant Fuzzy Sets* – HFS) proposta por Torra (2010) é uma generalização dos conjuntos *fuzzy* de Zadeh (1965), apresentados na última seção. Posteriormente, Rodriguez et al. (2012) propuseram os HFLTS, capazes de representar

linguisticamente a hesitação dos tomadores de decisão. Essa representação linguística foi criada para lidar com a dificuldade dos especialistas de avaliar um elemento em um conjunto quando estão em dúvida entre diferentes valores, o que pode acontecer durante uma tomada de decisão multicritério (Torra & Narukawa, 2009; Torra, 2010). O HFLTS permite que os tomadores de decisão escolham um intervalo de termos linguísticos durante sua avaliação e não apenas um termo, como é necessário para conjuntos *fuzzy* tradicionais. Portanto, com o HFLTS é possível que um avaliador utilize expressões linguísticas como: “entre muito baixo e alto”, “entre frio e morno”, “entre curto e muito longo”, entre outras. A Figura 16 exemplifica diferentes expressões linguísticas que ativam diversos conjuntos de termos linguísticos.

Figura 16 – Exemplos de diferentes expressões linguísticas ativando diferentes conjuntos de termos.

Fonte: Galo et al. (2018).

Neste contexto, os conjuntos *hesitant fuzzy* são apropriados para a tomada de decisão em grupo (Galo et al., 2018). Desta maneira, a Figura 13 aponta que esse tipo de representação

é uma das generalizações dos conjuntos *fuzzy* que vem recebendo mais atenção em estudos acadêmicos relacionados com a avaliação de riscos durante a tomada de decisão em grupo. Além disso, foram encontrados alguns trabalhos que utilizaram os conjuntos *hesitant fuzzy* para apoiar a avaliação de riscos relacionados à cadeia de suprimentos. He, Xu e Gu (2016) propuseram o *hesitant multiplicative preference relation* (HMPR) para apoiar a avaliação de riscos de crédito de empresas considerando sua cadeia de suprimentos. Chang, Wen e Chung (2018) utilizaram os conjuntos *hesitant fuzzy* combinados com o operador *ordered weighted geometric* (OWG) para aprimorar a eficácia do FMEA e reduzir limitações que sempre vem sendo apontadas na literatura. Neste modo, os autores sugerem o uso da proposta para apoiar o processo de seleção de fornecedores.

Para um determinado conjunto X , um conjunto *hesitant fuzzy* é definido em termos de uma função h , que, quando aplicada em X , retorna um subconjunto com valores entre 0 e 1 (Torra, 2010). Neste sentido, um conjunto HFS $\tilde{E}$ é matematicamente representado pela Equação (11), onde $\tilde{h}_E(x)$ é um intervalo finito entre 0 e 1, o qual representa o pertencimento de x ao conjunto (Torra, 2010).

$$\tilde{E} = \{ \langle x, \tilde{h}_E(x) \mid x \in X \rangle \} \quad (11)$$

Para conjuntos *hesitant fuzzy* representados pelas funções de pertencimento h , h_1 e h_2 temos as seguintes operações básicas, das Equações (12) a (18) (Xia & Xu, 2011; Torra, 2010):

$$h^c = \cup_{\gamma \in h} \{1 - \gamma\} \quad (12)$$

$$h_1 \cup h_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \max\{\gamma_1, \gamma_2\} \quad (13)$$

$$h_1 \cap h_2 = \cap_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \min\{\gamma_1, \gamma_2\} \quad (14)$$

$$h^\lambda = \cup_{\gamma \in h} \{\gamma^\lambda\} \quad (15)$$

$$\lambda h = \cup_{\gamma \in h} \{1 - (1 - \gamma)^\lambda\} \quad (16)$$

$$h_1 \oplus h_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{\gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \gamma_2\} \quad (17)$$

$$h_1 \otimes h_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{\gamma_1 \gamma_2\} \quad (18)$$

Yu (2013) apresentou uma extensão dos conjuntos *hesitant fuzzy*, pelo fato de apenas expressar os graus de pertencimento de um elemento a um determinado conjunto apenas por

um número *crisp* entre 0 e 1. Neste sentido, Yu (2013) propôs o *Triangular Fuzzy Hesitant Fuzzy Set* (TFHFS), o qual utiliza números triangulares *fuzzy* para representar a imprecisão e incertezas envolvidas na determinação dos graus de pertencimento de um elemento em um conjunto. No TFHFS, para $\tilde{E} = \{(x, \tilde{f}_{\tilde{E}}(x)) | x \in X\}$, tal que $\tilde{E}$ seja um conjunto HFS e $\tilde{f}_{\tilde{E}}(x)$ um conjunto de números triangulares *fuzzy* que representa grau de inclusão do elemento $x \in X$ para o conjunto $\tilde{E}$. Deste modo, um elemento triangular *fuzzy hesitant* é representado pela Equação (19):

$$\tilde{f}_{\tilde{E}}(x_i) = \{(\tilde{\xi}^L, \tilde{\xi}^M, \tilde{\xi}^U) | \tilde{\xi} \in \tilde{f}_{\tilde{E}}(x_i)\}, \quad (19)$$

onde $\tilde{\xi}$ é um número triangular *fuzzy*, $\tilde{\xi}^L$ o valor inferior, $\tilde{\xi}^M$ o valor médio e $\tilde{\xi}^U$ o valor superior do número triangular *fuzzy* $(\tilde{\xi}^L, \tilde{\xi}^M, \tilde{\xi}^U)$. Dentre os operadores de agregação propostos por Yu (2013), o *Triangular Fuzzy Hesitant Fuzzy Weighted Averaging* (TFHFWA), utilizado na presente dissertação é representado pela Equação (20). Nesta equação, seja $\tilde{f}_j (j = 1, 2, \dots, n)$ uma coleção de TFHFEs, de modo que $w_j \in [0, 1]$ seja o vetor de pesos, onde $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ e $w_j = (w_1, w_2, \dots, w_n)$.

$$\begin{aligned} TFHFWA(\tilde{f}_1, \tilde{f}_2, \dots, \tilde{f}_n) &= \bigoplus_{j=1}^n (w_j \tilde{f}_j) = \\ &= \{(1 - \prod_{j=1}^n (1 - \tilde{\xi}^L)^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \tilde{\xi}^M)^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \tilde{\xi}^U)^{w_j}) \\ &\quad | \tilde{\xi}_1 \in \tilde{f}_1, \tilde{\xi}_2 \in \tilde{f}_2, \dots, \tilde{\xi}_n \in \tilde{f}_n\}, \end{aligned} \quad (20)$$

Para defuzzificar o número *triangular fuzzy hesitant*, será utilizada a Equação (21) proposta por Lee e Li (1988), a mesma utilizada por Yu (2013). Neste caso, l_j é o valor do menor vértice resultante da agregação, m_j é o vértice do centro e u_j representa o valor do maior vértice, onde $(j=1, 2, \dots, n)$.

$$\tilde{f}_j = \frac{l_j + (m_j * 2) + u_j}{4} \quad (21)$$

4.3 SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

O FIS é baseado nas teorias de conjuntos *fuzzy* propostas por Zadeh (1965) e são conhecidos na literatura também como *fuzzy-rule-based system*, *fuzzy expert system* e *fuzzy system* (Geramian et al., 2017; Elsayed, 2009). De acordo com Elsayed (2009), a principal vantagem de se utilizar o FIS é a habilidade de se trabalhar com dados imprecisos. Rafie e Namin (2015) também apontam o FIS como uma oportunidade de lidar tanto com informações incompletas como com as incertezas e ambiguidades inerentes ao julgamento humano.

No contexto de avaliação de riscos, Liu et al. (2010) encontraram diversas aplicações do FIS, entre elas: riscos de radiação, riscos em *healthcare*, riscos de projetos de construção, riscos de diferentes mercados (*e-commerce*, eletricidade, câmbio e decisões de entrada no mercado), riscos que envolvem impactos negativos ao meio ambiente, riscos de segurança do trabalho, riscos de seleção de fornecedores, riscos financeiros e riscos de desenvolvimento de *softwares*. Além disso, os autores afirmam que o FIS permite a criação de matrizes de risco, como a ferramenta brevemente discutida na seção 2.1. Markowski e Mannan (2008) afirmam que embora a matriz de risco tradicional seja uma ferramenta útil para a avaliação de riscos, ela os categoriza de maneira vaga e imprecisa, de maneira a produzir incertezas relacionadas às suas categorias. Portanto, os autores utilizaram como *input* os valores fuzzificados de severidade e ocorrência provenientes da matriz de risco tradicional, e por meio do FIS criou matrizes de risco *fuzzy* para três diferentes cenários (pessimista, comum e otimista). Destaca-se, também, que Liu et al. (2013) afirmam que o FIS é a abordagem mais utilizada, dentre as abordagens combinadas com o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), técnica usada para apoiar a avaliação de riscos e utilizada em uma grande variedade de indústrias.

Além disso, foram encontradas diferentes aplicações do FIS relacionadas ao SCRM. Aqlan e Lam (2015) apresentaram um *framework* para avaliar riscos de cadeia de suprimentos. Os autores utilizaram: uma *survey* para identificar os fatores de risco, bem como a severidade de suas consequências e suas frequências de ocorrência; diagrama gravata-borboleta para agregar os níveis de severidade com os níveis de frequência de cada fator de risco; e o FIS para calcular o índice de risco de cada fator de risco para ranqueá-los. Ramkumar (2016) propôs uma metodologia para avaliar riscos de compra eletrônica de itens (*e-procurement*) baseada na combinação das técnicas ANP e FIS. Ramkumar, Schoenherr e Jenamani (2016) identificaram fatores de risco relacionados ao *e-procurement* por meio da análise SWOT e os avaliaram por meio da técnica ANP combinada com o FIS. Bereskie, Haider, Rodriguez, & Sadiq (2017) utilizaram o FIS para avaliar riscos relacionados a sistemas de fornecimento de água. Kayhan,

Cebi e Kahraman (2019) utilizaram o FIS para priorizar fatores de risco relacionados à confiabilidade dos fornecedores. O funcionamento e os elementos do FIS podem ser ilustrados pela Figura 17.

Figura 17 – Estrutura do *Fuzzy Inference System*.

Fonte: Adaptado de Herrera (2008).

O FIS pode utilizar variáveis linguísticas *fuzzy* condizentes com o modo que os especialistas expressam suas avaliações (Rafie & Namin, 2015). Deste modo, são construídas funções de pertinência fundamentadas pela base de dados e pelas variáveis linguísticas, as quais podem possuir formas triangulares, trapezoidal, gaussiana, entre outras. (Rafie & Namin, 2015; Herrera, 2008). A etapa de fuzzificação converte um valor numérico *crisp* no grau de pertinência dos termos linguísticos ativados pelos mesmos (Geramian et al., 2017). Para exemplificar, considera-se uma situação na qual as funções de pertinência e suas respectivas variáveis linguísticas nas formas triangulares representadas na Figura 18. Uma entrada *crisp* com o valor de 3, a qual representa o nível de severidade do risco relacionado a qualidade do produto, possui um pertencimento de 0,8 à variável linguística “Baixo” e 0,2 para a variável linguística “Médio”.

Figura 18 – Funções de pertinência e suas respectivas variáveis linguísticas nas formas triangulares.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro componente importante do FIS é sua base de regras, com relações entre antecedentes e consequentes do tipo: “Se A, então B”. “A” pode ser um conjunto de condições antecedentes, enquanto “B”, o consequente, representa a conclusão de cada regra (Geramian et al. 2017). Por exemplo: “**SE** preço é muito baixo **E** qualidade é alta, **ENTÃO** demanda é muito alta”. A base de dados e a base de regras compõem a base de conhecimento de um FIS (Herrera, 2008). Para prosseguir elucidando o funcionamento do FIS, a seguinte estrutura de regra será considerada:

Regra: Se x é **A** e y é **B**, então z é **C**

Além disso, o FIS deve utilizar um mecanismo de inferência, que permite inferir conclusões *fuzzy* por meio das bases de regras, dos dados *fuzzy* de entrada e das bases de dados (Geramian et al., 2017; Herrera, 2008). Dentre diferentes mecanismos de inferência, destaca-se o sistema de Mamdani, o qual já foi aplicado em diversos contextos (Geramian et al., 2017; Lima-Junior et al. 2013; Mamdani & Assilian, 1975). O sistema de inferência de Mamdani começa com a obtenção do grau de pertinência das entradas *crisp* em relação aos antecedentes das regras. A base de regras possui conectores “E” e “OU” para gerar as relações de implicação entre os termos linguísticos das variáveis de *input* para cada regra ativada (Pourjavad & Mayorga, 2017; Lima-Junior et al. 2013). Os conectores “E” podem ser modelados com operadores t-norma, representados nas equações (22) a (24) (Nicoletti & Camargo, 2011;

Zimmernam, 2010). Dentre os operadores t-norma, o operador “mínimo”, representado pela Equação (22), é o mais utilizado (Pourjavad & Mayorga, 2017; Lima-Junior et al. 2013). Analogamente, os conectores “OU” podem ser modelados com operadores s-norma, representados nas equações (25) a (27) (Nicoletti & Camargo, 2011; Zimmernam, 2010). Dentre os operadores s-norma, o operador “máximo”, representado pela Equação (25), é o mais utilizado (Pourjavad & Mayorga, 2017; Lima-Junior et al. 2013).

$$\text{Mínimo} \quad \alpha = \text{Min} (\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (22)$$

$$\text{Produto algébrico} \quad \alpha = \mu_A(x) * \mu_B(y) \quad (23)$$

$$\text{Diferença limitada} \quad \alpha = \text{Max} (0, \mu_A(x) + \mu_B(y) - 1) \quad (24)$$

$$\text{Máximo} \quad \alpha = \text{Max} (\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (25)$$

$$\text{Soma algébrica} \quad \alpha = \mu_A(x) + \mu_B(y) - \mu_A(x) * \mu_B(y) \quad (26)$$

$$\text{Soma limitada} \quad \alpha = \text{Min} (1, \mu_A(x) + \mu_B(y)) \quad (27)$$

Após a obtenção do grau de pertinência das entradas *crisp* em relação aos antecedentes das regras, o segundo passo do sistema de Mamdani é obter os consequentes das regras. Para isso, o mecanismo de inferência executa a relação de implicação entre os números *fuzzy* resultante dos operadores lógicos e o consequente C, para cada regra ativada (Pourjavad & Shahin, 2017). Um dos operadores de implicação mais utilizados é o de Mamdani (Pourjavad & Mayorga, 2017; Geramian et al., 2017), apresentado na Equação (28). Além do operador de Mamdani, Ross (2010) destaca outros operadores de implicação, apresentados entre as Equações (29) e (31).

$$\mu_{R_{\alpha \rightarrow C}}(x, z) = \text{Min} (\alpha, \mu_C(z)) \quad (28)$$

$$\mu_{R_{\alpha \rightarrow C}}(x, z) = \text{Max} (\mu_C(z), 1 - \alpha) \quad (29)$$

$$\mu_{R_{\alpha \rightarrow C}}(x, z) = \text{Min} (1, [1 - \alpha + \mu_C(z)]) \quad (30)$$

$$\mu_{R_{\alpha \rightarrow C}}(x, z) = \alpha \cdot \mu_C(z) \quad (31)$$

A composição entre um singleton *fuzzy* e a relação de implicação define o número *fuzzy* de saída para cada regra (Pourjavad & Shahin, 2018). As composições de relação Max-Min, Max-Prod e Max-Média, apresentadas respectivamente entre as Equações (32), (33) e (34), são as mais aplicadas (Pourjavad & Mayorga, 2017; Ross, 2010). Além desses operadores de

composição, Ross (2010) destaca os operadores Max-Max, Min-Max e Min-Min, respectivamente apresentados entre as Equações (35), (36) e (37).

$$S \circ R(x, z) = \text{Max} \{ \text{Min} (\mu_S(x, y), \mu_R(y, z)) \} \quad (32)$$

$$S . R(x, z) = \text{Max} \{ \mu_S(x, y) * \mu_R(y, z) \} \quad (33)$$

$$S \oplus R(x, z) = \text{Max} \left\{ \frac{1}{2} (\mu_S(x, y) + \mu_R(y, z)) \right\} \quad (34)$$

$$S \circ R(x, z) = \text{Max} \{ \text{Max} (\mu_S(x, y), \mu_R(y, z)) \} \quad (35)$$

$$S \circ R(x, z) = \text{Min} \{ \text{Max} (\mu_S(x, y), \mu_R(y, z)) \} \quad (36)$$

$$S \circ R(x, z) = \text{Min} \{ \text{Min} (\mu_S(x, y), \mu_R(y, z)) \} \quad (37)$$

O último passo do mecanismo de inferência de Mamdani consiste em agregar as saídas resultantes de cada regra em um único conjunto *fuzzy* por meio de um operador de agregação. Ross (2010) destaca que existe duas principais estratégias para o processo de agregação das regras *fuzzy*. A primeira é quando busca-se um sistema de regras conjuntivo, ou seja, quando é esperado que todas as regras do sistema sejam satisfeitas, portanto, um sistema não-compensatório. Nesse caso, é utilizado o operador Min, apresentado na Equação (38), sendo que o *output* resultante dele é a intersecção *fuzzy* dos consequentes de todas as regras. A segunda estratégia é quando busca-se um sistema disjuntivo de regras, ou seja, quando é esperado que pelo menos uma regra seja satisfeita. Nesse caso, é utilizado o operador Max, apresentado na Equação (39), sendo que o *output* dele é a união *fuzzy* de todas contribuições individuais de cada regra.

$$AG(.) = \text{Min} (\mu_{R1}(x), \mu_{R2}(x) \dots \mu_{Rn}(x)) \quad (38)$$

$$AG(.) = \text{Max} (\mu_{R1}(x), \mu_{R2}(x) \dots \mu_{Rn}(x)) \quad (39)$$

Finalmente, após a aplicação do mecanismo de inferência, é iniciado o processo de defuzzificação. Os conjuntos *fuzzy* resultantes do mecanismo de inferência podem ser defuzzificados em conclusões não *fuzzy*, ou seja, números *crisp* (Rafie & Namin, 2015). Os métodos de defuzzificação normalmente utilizados são: centro de área, bis, média dos máximos,

menor dos máximos e maior dos máximos (Syn, Mokhtar, Feng, & Manurung, 2011). Dentre eles, o método de centro de área é o mais utilizado e pode ser representado pela Equação (40) (Pourjavad & Mayorga, 2017; Rafie & Namin, 2015; Syn et al., 2011).

$$CoA = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_A(X_K) X_K}{\sum_{k=1}^n \mu_A(X_K)} \quad (40)$$

4.3.1 MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO BASEADO EM REGRAS FUZZY

FRBCSs têm sido aplicados de forma bem-sucedida em problemas de classificação (Cordón, Jesus, & Herrera, 1999; Ishibuchi, Nakozi, & Tanaka, 1992). Ishibuchi, Nokazi e Tanaka (1992) apresentaram uma metodologia de inferência para classificações, utilizando regras *fuzzy*, o qual foi aplicado em diversos contextos (Antonelli, Ducange, Marcelloni, & Segatori, 2015; Lima-Junior et al. 2013). De acordo com Lima-Junior et al. (2013), o método é conhecido como *simple fuzzy grid* e divide o espaço de padrões em subespaços *fuzzy*, definindo uma regra para cada subespaço, como pode ser exemplificado pela Figura 19.

Figura 19 – Exemplo de divisão do espaço em subespaços *fuzzy*.

Fonte: Adaptado de Lima-Junior et al. (2013).

Nesse método, os consequentes de cada regra associam diferentes combinações de seus antecedentes a variadas classes, o que pode ser exemplificado pela estrutura:

$$SE x_1 \text{ é } A_{j1} E \dots E x_n \text{ é } A_{jn} \text{ então Classe } C_j \text{ com } CF_j, j = 1, 2, \dots, N \quad (41)$$

Onde, $X = (x_1, \dots, x_n)$ é um vetor de n padrões, A_{ji} são os antecedentes linguísticos $i = 1, 2, \dots, n$, C_j são as classes consequentes, N é o número de regras, CF é o grau de certeza de cada regra. De acordo com Ishibuchi e Nakashima (2001), o CF também pode ser interpretado com o peso de cada regra e normalmente varia em um intervalo de 0 a 1. Neste mesmo trabalho, os autores mostraram que o CF é necessário quando existem regras com diferentes graus de especificidade, ou seja, regras gerais e regras específicas. Regras gerais tem apenas alguns antecedentes, enquanto regras específicas possuem mais antecedentes, normalmente sendo exceções para as regras gerais (Ishibuchi & Nakashima, 2001). O processo de classificação se dá pelo cálculo do grau de compatibilidade entre o padrão x_n e cada regra R_j , por meio de uma t -norma, como apresentado na Equação (42).

$$Compat(R_j, x_n) = t(\mu_{A_{j1}}(x_1).CF_j, \dots, \mu_{A_{jn}}(x_n).CF_j) \mid j, n = 1, \dots, N \quad (42)$$

Considerando-se que o sistema possua m classes, para cada classe C_j ($j=1, 2, \dots, m$), será calculado seu grau de pertencimento ∂_{C_M} em relação ao padrão x_n . O grau de pertencimento ∂_{C_M} corresponde ao maior grau de compatibilidade dentre as regras que associam seu consequente com a classe C_m . Esse cálculo é representado pela Equação (43).

$$\partial_{C_M} = \max(Compat(R_j, x_n)) \mid n \in \text{Classe } M, M = 1, 2, \dots, m \quad (43)$$

Finalmente, o padrão X será atribuído à classe que possuir maior grau de pertencimento ∂_{C_m} . Caso mais de uma classe possua o valor máximo de ∂_{C_m} , o padrão não poderá ser classificado (Ishibuchi & Nokazi; Tanaka, 1992).

Para exemplificar o método, considere a Base de Regras apresentada no Quadro 4. Considere uma entrada numérica para o sistema com um pertencimento de 0.2 ao termo

linguístico “Baixo” e 0.8 ao termo linguístico “Médio”, em relação ao critério de Severidade. Considere, também, uma entrada numérica com um pertencimento de 0.4 para o termo linguístico “Médio” e 0.6 ao termo linguístico “Alto”, em relação ao critério de Ocorrência. Com essas entradas e aplicando-se a Equação (42), com a t-norma “mínimo” representada na Equação (22), é obtido o grau de compatibilidade de cada regra. No caso, apenas as regras 2, 3, 5 e 6 são ativadas, pois são apenas elas que têm um grau de pertencimento maior que zero para ambos antecedentes. Para a regra 2, por exemplo, a entrada possui um pertencimento de 0.2 para o termo “Baixo” relacionado com a severidade e um pertencimento de 0.4 para termo “Médio”. Neste caso, ao se aplicar a Equação (42), com a t-norma “mínimo”, o grau de compatibilidade com a classe “Baixo” é 0.2. Portanto, o grau de compatibilidade para as classes resultantes das regras 2, 3, 5 e 6 são 0.2, 0.2, 0.4 e 0.6 respectivamente. A partir da Equação (43), é possível calcular o grau de pertencimento ∂_{CM} para as classes “Baixo”, “Médio” e “Alto”, os quais são 0.2, 0.4 e 0.6 respectivamente. Portanto, a classe que possui maior grau de pertencimento é a classe “Alto”, sendo esta, a classificação do fator de risco para este exemplo.

Quadro 4 - Exemplo de base de regras.

Regra	Se			ENTÃO	Classificação
	Severidade	E	Ocorrência		
1	Baixo	E	Baixo	ENTÃO	Baixo
2	Baixo	E	Médio	ENTÃO	Baixo
3	Baixo	E	Alto	ENTÃO	Médio
4	Médio	E	Baixo	ENTÃO	Baixo
5	Médio	E	Médio	ENTÃO	Médio
6	Médio	E	Alto	ENTÃO	Alto
7	Alto	E	Baixo	ENTÃO	Médio
8	Alto	E	Médio	ENTÃO	Alto
9	Alto	E	Alto	ENTÃO	Alto

Fonte: Elaborado pelo autor.

Até a presente seção do trabalho foram discutidos todos os conceitos utilizados para o desenvolvimento do modelo teórico, incluindo a discussão da avaliação de riscos de fornecimento, uma revisão sistemática da literatura da avaliação de riscos considerando a tomada de decisão em grupo e as técnicas *fuzzy* utilizadas. O próximo capítulo apresenta a proposta de um modelo de classificação de riscos de fornecimento considerando o julgamento de múltiplos especialistas construído por meio da combinação das técnicas estudadas. Deste

modo, o HFLTS é utilizado para modelar a incerteza e considerar a hesitação durante a avaliação dos especialistas e o FRBCS é utilizado para classificar os fatores de riscos de maneira não-compensatória para casos nos quais os fatores de riscos são avaliados com uma severidade muito alta, por meio da construção de uma base de regras com regras não-compensatórias.

5 PROPOSTA DE MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE PRIORIDADE DE RISCOS

Este capítulo apresenta a proposta de um modelo do processo de classificação de riscos de fornecimento a partir do julgamento de especialistas, focando na análise e avaliação de riscos, como pode ser observado na Figura 20. Ressalta-se que a etapa de identificação de riscos antecede a proposta de modelo e fornece os *inputs* essenciais para ele, os fatores de risco. Além disso, o processo de identificação de riscos pode ser apoiado por meio das técnicas apresentadas na seção 2.1 e dos Quadros 2 e 3 apresentados na seção 2.2.1 do presente trabalho.

Figura 20 – Relação do modelo proposto com o processo de avaliação de riscos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo é baseado em um conjunto das etapas de:

- I. Parametrização: A etapa de parametrização consiste em estabelecer os conjuntos *fuzzy* e *hesitant fuzzy*, bem como a base de regras;
- II. Avaliações linguísticas de severidade e ocorrência: Visa coletar os julgamentos individuais dos especialistas em relação à severidade e ocorrência de cada fator de risco;
- III. Agregação dos julgamentos: A etapa de agregação tem como objetivo agregar os julgamentos dos decisores em um único julgamento coletivo;
- IV. Classificação dos fatores de risco: Tem como objetivo categorizar os riscos por meio do uso do FRBCS.

A Figura 21 ilustra os componentes e as etapas do modelo de classificação. Ressalta-se que antes de se iniciar a aplicação do modelo é necessário definir quais itens de fornecimento serão analisados. Para apoiar esse processo decisório, pode-se utilizar a matriz de Kraljic, a qual foi brevemente explicada na seção 2.2.1 do presente trabalho. Neste caso, sugere-se que itens categorizados como estratégicos possuam maior prioridade de análise em relação aos itens pertencentes a outras categorias. Deste modo, itens que possuem uma alta complexidade de mercado e alta importância de compras devem ser avaliados. Após a definição de quais itens serão avaliados, pode-se apresentar para os decisores os Quadros 2 e 3 para apoiar a identificação dos fatores de risco ligados a cada um dos itens. Ressalta-se que existem inúmeras abordagens para apoiar a identificação de riscos e os especialistas não devem ficar limitados apenas aos fatores de riscos apresentados nos Quadros 2 e 3.

Figura 21 – Etapas e componentes do modelo avaliação e classificação de riscos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1 PASSO 1: PARAMETRIZAÇÃO

A Parametrização *hesitant fuzzy* trata das definições das funções de pertinência dos termos linguísticos, como representados pela Figura 22, os quais serão utilizados pelos especialistas para realizar seus julgamentos individuais. Deve-se ressaltar que os especialistas podem hesitar entre dois ou mais termos linguísticos no momento do julgamento, uma vez que nessa etapa são utilizados os conjuntos *hesitant fuzzy*. A atividade Parametrização *fuzzy* refere-

se às definições das funções de pertinência para as variáveis de entrada (severidade e ocorrência) e saídas (nível de risco) usadas para a inferência *fuzzy*. Ressalta-se que a base de regras pode ser elaborada seguindo as relações entre os níveis de severidade e ocorrência definidas por uma matriz de riscos (como apresentada na seção 2.1). Desta forma, é possível obter regras com seus antecedentes (severidade e ocorrência) e seus consequentes (classificação do risco), de forma similar à Equação 41. Deve-se notar que devido à natureza do problema de aplicação, apenas existem regras gerais, ou seja, não é necessário considerar o peso das regras CF, como foi discutido na seção 4.3.1. A base de regras possui uma estrutura similar ao Quadro 4, sendo que a quantidade de regras vai variar dependendo da quantidade de termos linguísticos utilizados para as avaliações de severidade e ocorrência. Ambas as bases de dados, bem como a base de regras, podem ser elaboradas com os tomadores de decisão junto a um especialista, responsável por oferecer suporte para definir os termos linguísticos e seus respectivos conjuntos *fuzzy*.

Figura 22 – Exemplo de funções de pertencimento relacionadas aos termos linguísticos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 PASSO 2: AVALIAÇÕES DE SEVERIDADE E OCORRÊNCIA

Utilizando-se os termos linguísticos pertencentes à Parametrização *hesitant fuzzy*, *d* tomadores de decisão julgam os fatores de risco em relação à severidade de suas consequências e a frequência de ocorrência deles acontecerem. Por exemplo, um decisor pode avaliar um fator de risco com um nível de severidade de “Muito Baixa” e com um nível de ocorrência “Entre Baixa e Média”. Após a avaliação dos tomadores de decisão, obtêm-se *m* matrizes individuais que representam os julgamentos de cada tomador de decisão (*Decision Maker* - DM) em relação

à severidade e ocorrência de cada fator de risco, onde $A_i = (i = 1, 2, \dots, m)$ e m é o número de fatores de risco, como representado pela Equação (48).

$$A_i = \begin{matrix} & DM_1 & DM_2 & \dots & DM_d \\ \begin{matrix} Severidade \\ Ocorrência \end{matrix} & \begin{pmatrix} \tilde{f}_{A_{i11}} & \tilde{f}_{A_{i12}} & \dots & \tilde{f}_{A_{i1d}} \\ \tilde{f}_{A_{i21}} & \tilde{f}_{A_{i22}} & \dots & \tilde{f}_{A_{i2d}} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (48)$$

5.3 PASSO 3: AGREGAÇÃO DOS JULGAMENTOS

Após a coleta dos julgamentos individuais, eles podem ser agregados utilizando-se o operador de agregação TFHFWA para cada critério C_j , $j = 1, \dots, n$. No caso, existem apenas dois valores para j , sendo eles: $j = 1$ (Severidade) e 2 (Ocorrência), resultando em dois vetores: um para os julgamentos relacionados à severidade e outro para julgamentos relacionados à ocorrência. O operador de agregação é representado pela Equação (49) abaixo, sendo $w_k, k = 1, \dots, d$, os pesos dos tomadores de decisão, tal que, $\sum_1^d w_k = 1$ e $\tilde{f}_{A_{ijk}}$ representa as avaliações individuais do decisor k , em relação ao fator de risco A_i e ao critério j .

$$TFHFWA_{A_{ij}}(\tilde{f}_{A_{ij1}}, \tilde{f}_{A_{ij2}}, \dots, \tilde{f}_{A_{ijd}}) = \bigoplus_{k=1}^d (w_k \tilde{f}_{A_{ijk}}) = \{(1 - \prod_{k=1}^d (1 - \xi^L)^{w_k}, 1 - \prod_{k=1}^d (1 - \xi^M)^{w_k}, 1 - \prod_{k=1}^d (1 - \xi^U)^{w_k}) | \xi_1 \in \tilde{f}_{A_{i1}}, \xi_2 \in \tilde{f}_{A_{i2}}, \dots, \xi_n \in \tilde{f}_{A_{in}}\} \forall i, \forall j, \quad (49)$$

Após a agregação dos julgamentos individuais, os vetores com os níveis de severidade e ocorrência para cada fator de risco devem ser defuzzificados de acordo com a Equação (21), que por sua vez serão usados como entradas *crisp* para o FRBCS.

5.4 PASSO 4: CLASSIFICAÇÃO DOS FATORES DE RISCO

Após a defuzzificação, as entradas serão novamente fuzzificadas para obter o grau de pertencimento dos valores de severidade e ocorrência de cada fator de risco em relação a cada termo linguístico definido na Parametrização *fuzzy*. Após a fuzzificação, o grau de compatibilidade para cada regra ativada deve ser calculado por meio da Equação (42), sendo que o operador t-norma utilizado será o “mínimo”, descrito na Equação (22). Vale lembrar que,

como descrito na seção 5.1, o CF será desconsiderado, uma vez que no tipo de problema abordado existam apenas regras gerais. A classe de cada fator de risco será dada pelo termo linguístico, dentre os consequentes, que possuir o maior valor de grau de pertencimento ∂_{C_m} , calculado por meio da Equação (43). Em outras palavras, deve-se comparar o grau de compatibilidade à determinada classe de todas as regras e atribuir seu valor máximo ao grau de pertencimento ∂_{C_m} do fator de risco para a classe m . A classe que possuir maior grau de pertencimento ∂_{C_m} será a classe associada ao fator de risco. Além do método de classificação, adicionalmente, é proposto que seja realizado um ranqueamento entre os riscos que são da mesma categoria. Deste modo, os riscos que possuírem maior valor de ∂_{C_m} , devem receber maior prioridade.

6 APLICAÇÃO PILOTO DO MODELO COMPUTACIONAL

Este capítulo apresenta uma aplicação piloto do modelo proposto no capítulo anterior utilizando-se dados reais de uma empresa do setor químico. Deste modo, este capítulo é composto por uma breve descrição da empresa, a metodologia de coleta de dados, a aplicação do modelo computacional, os resultados obtidos e finalmente as análises dos resultados.

6.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

Por motivos de confidencialidade, alguns dados como o nome da empresa e o nome de matérias-primas, foram omitidos. A empresa (denominada X), pertence à indústria química e é referência no desenvolvimento de soluções de alta performance em compostos de borracha, adesivos e selantes, os quais possuem inúmeras aplicações em diversos setores industriais. Atualmente, o carro chefe da empresa são os adesivos e selantes, os quais possuem mais de 1500 variações de produtos, voltados para diversos fins, como: construção civil, embalagens, farmacêuticos, móveis, estofados, colchões, artesanato e automotivo. Atualmente, a empresa conta com um quadro de 600 funcionários e possui certificação ISO 9001. Os principais tipos de matéria-prima para os adesivos e selantes são os solventes, os sólidos e as resinas.

Até meados de 2018 a empresa X tinha cerca de 90% de seus insumos adquiridos de importações diretas. No entanto, devido à crise financeira de fluxo de caixa, a empresa não conseguiu bancar este tipo de operação, ficando também, sem crédito no mercado, e então começou a migrar suas aquisições para *trading companies*. Estes são distribuidores que a partir do *forecast* acordado junto a empresa, realizam a importação e posteriormente revendem na medida que ocorre a necessidade. Comprar de *trading companies* tem um custo significativamente maior que realizar importações diretas, porém, devido às limitações atuais, a alta gestão optou por fazer esta operação para encurtar o ciclo financeiro da empresa. Sendo assim, com esta operação, a empresa terá um menor desembolso de caixa a curto prazo e o risco da importação fica por conta das *trading companies*. Além disso, é possível ter uma maior flexibilidade de comprar quantidades menores, menor *lead time* e há possibilidade de manter estoque bem próximo do zero. Deste modo, a estratégia organizacional da empresa é realizar a aquisição com um menor desembolso de caixa de curto prazo e menor *lead time* de entrega.

O processo de compras e gestão de fornecedores não é em grupo, porém envolve tanto o setor de compras quanto o setor de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Desta maneira, um coordenador de compras realiza a prospecção e administra a carteira de fornecedores, enquanto

um profissional do P&D define as especificações técnicas que são exigidas para a aquisição dos materiais. Atualmente, não existe um processo estruturado de gestão de risco de fornecimento. Ainda assim, ocorrem reuniões semanais de *Sales and Operations Planning* (S&OP), nas quais o setor de PCP, de suprimentos e comercial discutem planos de contingências para insumos em que há previsão de ruptura.

6.2 DECISORES

Para a provisão de dados, foi necessário selecionar especialistas de áreas relacionadas ao fornecimento de materiais para a empresa, sendo eles:

- **Coordenador de compras:** Responsável por administrar a carteira de fornecedores, visitas e negociações, além de prospectar novos fornecedores;
- **Especialista químico do setor de P&D:** Realiza o desenvolvimento das formulações, análises de melhoria, além de atuar em correções de lotes que foram produzidos fora de especificação. Em relação ao processo de fornecimento, o especialista define as especificações técnicas que as matérias-primas enviadas pelos fornecedores devem possuir;
- **Coordenadora de planejamento e controle da produção:** Realiza o planejamento de médio prazo (1 a 3 meses) da produção, organiza as explosões de insumos, níveis de estoques e passa as ordens de compras de matérias-primas para o coordenador de compras;
- **Programador do PCP:** Responsável pelo planejamento a curto prazo (semanal) e programação da produção da fábrica a partir dos pedidos em carteira.

6.3 FATORES DE RISCO AVALIADOS

A coleta dos dados utilizados para aplicação piloto foi realizada entre Janeiro e Fevereiro de 2020, por meio do Google *site* <https://sites.google.com/usp.br/priorizacao-de-riscos/>, elaborado pelo autor. Além disso, para esclarecer detalhes relacionados à elaboração da base de regras e a identificação de riscos, foram realizadas entrevistas com os especialistas via telefone. No “Apêndice A – Imagens do *website* para coleta de dados” pode-se encontrar imagens de todas as páginas do *website*.

Um dos componentes do “Passo 1: Parametrização” do modelo são os fatores de risco. Para identificá-los, primeiramente foi solicitado que os especialistas decidissem três matérias-

primas das quais eles consideram estratégicas para a empresa. Para isso, foi sugerido que os especialistas utilizassem itens com alta complexidade de mercado e alta importância de compra, como aponta a matriz de Kraljic, apresentada na seção 2.2.1. Porém, este não era um passo obrigatório e os decisores estavam livres para escolher os itens da maneira que ficassem mais confortáveis. Posteriormente, foi solicitado para que os especialistas selecionassem fatores de risco relacionados aos itens. Deste modo, foram apresentados os fatores de risco listados nos Quadros 2 e 3 para apoiar esse processo. Ressalta-se que foi explicitado que os especialistas poderiam citar fatores de riscos que não estavam nos quadros.

Na página inicial do site mencionado acima, encontra-se o botão “Identificar riscos”, o qual encaminha o especialista para uma página onde são descritos vários fatores de risco os quais foram úteis para nortear os especialistas a selecionar os fatores de risco relacionados às matérias-primas. Na mesma página, encontra-se um formulário no qual os especialistas podem preencher citando a matéria-prima e os fatores de risco relacionados a elas. O Quadro 5 apresenta os riscos identificados pelos especialistas.

Quadro 5 - Fatores de risco identificados.

Material	Fator de Risco
Resina X	R1 - Risco de disponibilidade
	R2 - Risco de flexibilidade de pagamento
	R3 - Risco de qualidade do material
	R4 - Risco de viabilidade comercial
	R5 - Risco de entrega
SÓLIDO Y	R6 - Risco de disponibilidade
	R7 - Risco de flexibilidade de pagamento
	R8 - Risco de viabilidade comercial
	R9 - Risco de entrega
	R10 - Risco de dificuldade de comunicação
SOLVENTE Z	R11 - Risco de flexibilidade de pagamento
	R12 - Risco de viabilidade comercial

	R13 - Risco de qualidade de material
	R14 - Risco de disponibilidade
	R15 - Risco de capacidade financeira
	R16 – Risco de confiabilidade técnica

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a identificação dos fatores de risco, por meio de uma entrevista via telefone com um dos especialistas, foram fornecidos mais detalhes sobre os fatores de risco. A descrição dos mesmos encontra-se a seguir:

- **Risco de disponibilidade:** Risco de fornecedores não ter o material disponível;
- **Risco de flexibilidade de pagamento:** Risco de fornecedores não serem flexíveis quanto ao prazo de pagamento;
- **Risco de qualidade do material (Resina X):** Em relação ao processo de hidrogenação e propriedades de clareamento da coloração do adesivo;
- **Risco de viabilidade comercial:** Risco de fornecimento com preços elevados;
- **Risco de entrega:** Riscos relacionados ao tempo de entrega e *lead time*;
- **Risco de dificuldade de comunicação:** Riscos de existir um canal de comunicação pouco efetivo com os fornecedores;
- **Risco de qualidade do material (Solvente Z):** O solvente Z não possui históricos de problemas de qualidade, porém são realizados testes de relacionados à sua pureza, taxa de evaporação e aderência;
- **Risco de confiabilidade técnica:** Problemas com fornecedores não saberem manusear o material.

6.4 PASSO 1: PARAMETRIZAÇÃO

Com a identificação de riscos realizada, pode-se dar início à aplicação do modelo iniciando-se pelo Passo 1: Parametrização. Deste modo, será realizada a definição da base de regras, bem como a escolha dos conjuntos *fuzzy* adequados para os termos linguísticos para a Parametrização *hesitant fuzzy* e a Parametrização *fuzzy*.

Foi solicitado ajuda a um dos especialistas para validar uma base de regras elaborada pelo autor. Para isso, o especialista deve acessar a página inicial do site, onde se encontra o botão “Validar base de regras”, o qual encaminha o especialista para outra página onde ele poderá validar uma base de regras inicialmente proposta ou sugerir mudanças. A Base de Regras

utilizada nessa aplicação pode ser representada pelo Quadro 6. Ressalta-se que as regras 21 e 22 são não-compensatórias, uma vez que não assumem um nível de risco menor que “Alto”, mesmo para valores de ocorrência como “Muito Baixo” e “Baixo”, pois ambas possuem uma severidade de nível “Muito Alto”. A Parametrização *hesitant fuzzy* e a Parametrização *fuzzy*, seguiram as mesmas funções de pertinência e valores apresentados na Figura 22 e foram elaboradas pelo próprio autor.

Quadro 6 – Base de Regras para aplicação piloto.

Regra	Se			ENTÃO	Nível de Risco
	Severidade	E	Ocorrência		
1	Muito Baixo	E	Muito Baixo	ENTÃO	Muito Baixo
2	Muito Baixo	E	Baixo	ENTÃO	Muito Baixo
3	Muito Baixo	E	Médio	ENTÃO	Baixo
4	Muito Baixo	E	Alto	ENTÃO	Baixo
5	Muito Baixo	E	Muito Alto	ENTÃO	Médio
6	Baixo	E	Muito Baixo	ENTÃO	Baixo
7	Baixo	E	Baixo	ENTÃO	Baixo
8	Baixo	E	Médio	ENTÃO	Baixo
9	Baixo	E	Alto	ENTÃO	Médio
10	Baixo	E	Muito Alto	ENTÃO	Médio
11	Médio	E	Muito Baixo	ENTÃO	Baixo
12	Médio	E	Baixo	ENTÃO	Médio
13	Médio	E	Médio	ENTÃO	Médio
14	Médio	E	Alto	ENTÃO	Médio
15	Médio	E	Muito Alto	ENTÃO	Alto
16	Alto	E	Muito Baixo	ENTÃO	Médio
17	Alto	E	Baixo	ENTÃO	Médio
18	Alto	E	Médio	ENTÃO	Alto
19	Alto	E	Alto	ENTÃO	Alto
20	Alto	E	Muito Alto	ENTÃO	Alto
21	Muito Alto	E	Muito Baixo	ENTÃO	Alto
22	Muito Alto	E	Baixo	ENTÃO	Alto
23	Muito Alto	E	Médio	ENTÃO	Alto
24	Muito Alto	E	Alto	ENTÃO	Muito Alto
25	Muito Alto	E	Muito Alto	ENTÃO	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5 PASSO 2: AVALIAÇÕES LINGÜÍSTICAS DE SEVERIDADE E OCORRÊNCIA

No “Passo 2: Avaliações de severidade e ocorrência”, foi necessário coletar as avaliações individuais dos especialistas. Para isso, foi necessário que eles entrassem na página inicial do site e clicassem no botão “Avaliar riscos”. Deste modo, uma nova página é aberta, na qual é solicitado aos especialistas avaliarem os fatores de risco apresentados no Quadro 5 de acordo com sua “Severidade” e “Ocorrência”. Além disso, nessa página também encontram-se as definições sobre o que é severidade e ocorrência, bem como uma explicação com exemplos de como os especialistas podem hesitar durante suas avaliações. As avaliações linguísticas em relação à severidade e ocorrência dos fatores de risco realizada pelos especialistas podem ser encontradas no Quadro 7, de modo que os termos “Muito Baixa”, “Baixa”, “Média”, “Alta” e “Muito Alta” são representados por “MB”, “B”, “M”, “A” e “MA” respectivamente. Além disso, o símbolo “~” é utilizado para avaliações utilizando o termo “Entre”, por exemplo, “B~M” significa “Entre Baixo e Médio”.

Quadro 7 – Avaliações linguísticas da severidade e ocorrência dos fatores de risco.

Fator de risco	Especialista 1		Especialista 2		Especialista 3		Especialista 4	
	Ocorrência	Severidade	Ocorrência	Severidade	Ocorrência	Severidade	Ocorrência	Severidade
R1	B~M	A	MB	A	MB	MA	MB	M
R2	A	A~MA	A	A	MA	MA	MA	MA
R3	MB	A~MA	B	MA	B	A	MB	A~MA
R4	M	A	B	A	A	MA	B	M
R5	A	A	M	A	A	MA	MA	A
R6	MB	A	M	MA	M	A	MB	MA
R7	M	MA	A	A	A	A	MA	A
R8	MB	M	M	A	A	MA	MB	M
R9	M~A	MA	MA	MA	MA	MA	MA	A
R10	A	MA	A	A	M	MA	B	A
R11	MA	MA	M	M	MA	MA	MA	MA
R12	M	M	M	A	M	MA	M	A
R13	B	A	B	M	MB	MA	MB	MA
R14	B	A	B	M	MB	MA	MB	A
R15	B~M	MA	B	A	MB	MA	MB	A
R16	MB	MB	B	B	MB	B	MB	B

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.6 PASSO 3: AGREGAÇÃO DOS JULGAMENTOS

Para o “Passo 3: Agregação dos julgamentos”, foram agregados os julgamentos dos quatro tomadores de decisão por meio da Equação (49). Ressalta-se que o peso w_k para todos os especialistas foi considerado o mesmo, ou seja, 0.25. Os níveis de severidade e ocorrência dos riscos foram defuzzificados por meio da Equação (21), sendo estes os *inputs* do FRBCS e podem ser observados no Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados das agregações das avaliações dos decisores.

Fatores de risco	Agregação Ocorrência	Agregação Severidade
R1	0,0941	0,8837
R2	0,9257	0,9186
R3	0,0969	0,9109
R4	0,4925	0,8837
R5	0,8837	0,8949
R6	0,1417	0,9116
R7	0,8837	0,8949
R8	0,2500	0,8713
R9	0,9217	0,9257
R10	0,5544	0,9116
R11	0,9022	0,9177
R12	0,5000	0,8837
R13	0,0969	0,9022
R14	0,0969	0,8837
R15	0,1091	0,9116
R16	0,0806	0,1117

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.7 PASSO 4: CLASSIFICAÇÃO DOS FATORES DE RISCO

Para o “Passo 4: Classificação dos fatores de risco”, foi aplicado o FRBCS utilizando-se os parâmetros descritos na seção 5.4, sendo possível obter a classificação dos riscos. Destaca-se que o principal objetivo do modelo é obter as classificações dos fatores de risco, porém, adicionalmente, eles também foram ordenados. Deste modo, ao se comparar fatores de risco que possuem a mesma classe, eles foram ordenados segundo seu grau de pertencimento ∂_{C_M} , ou seja, quanto maior o seu ∂_{C_M} , maior prioridade ele deve receber em relação ao riscos de mesma classe. O *ranking* dos fatores de risco, bem como suas classificações podem ser

observados no Quadro 8. Além disso, os graus de pertencimento dos fatores de risco para cada classe são apresentados na Tabela 2.

Quadro 8 – Fatores de risco de risco classificados e ordenados.

Classes de risco	Ordenação dos fatores de risco
Muito Alto	R9 > R2 > R11 > R7 = R5
Alto	R10 > R3 > R13 > R6 > R15 > R1 = R4 = R12 = R14
Médio	R8
Baixo	-
Muito Baixo	R16

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Grau de pertencimento dos fatores de risco para cada classe.

Grau de compatibilidade de cada classe					
Fator de risco	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
R1			0,4653	0,5347	
R2				0,3254	0,6746
R3			0,3562	0,6124	
R4			0,0299	0,5347	
R5				0,4204	0,5347
R6			0,3536	0,5670	
R7				0,4204	0,5347
R8			0,5149	0,4851	
R9				0,2973	0,6868
R10				0,6464	0,2175
R11				0,329	0,6087
R12				0,5347	
R13			0,3913	0,6087	
R14			0,4653	0,5347	
R15			0,3536	0,5637	
R16	0,5533	0,4467			

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após obter as classificações dos riscos, foi possível analisar os resultados a partir do Quadro 8. Deste modo, percebe-se que todos os fatores riscos classificados como “Muito Alto”

são riscos do tipo de flexibilidade de pagamento ou entrega, independente do material. Esses resultados são condizentes tanto com a estratégia da empresa, quanto com suas limitações financeiras e de crédito, todas descritas na seção 6.1. Deste modo, uma vez que a empresa busca realizar aquisições com um menor desembolso de caixa a curto prazo e busca menor *lead time*, é natural que os especialistas julguem a severidade desses fatores de risco como alto. Porém, como a empresa não possui crédito no mercado, os fornecedores não são flexíveis quanto ao prazo de pagamento, justificando a alta ocorrência para os fatores de risco relacionados à flexibilidade de pagamento. A alta ocorrência dos fatores de risco de entrega decorre do fato de não haver *trading companies* desses materiais no Brasil, de maneira que a empresa recorra a fornecedores internacionais.

As classes que os fatores de risco são alocados são informações importantes para os tomadores de decisão conseguirem distinguir quais devem ser mitigados, de maneira mais ágil e efetiva. Além disso, em aplicações do modelo nas quais deseja-se analisar uma grande quantidade de fatores de risco, a classificação deles ganha ainda mais importância. Nos resultados apresentados no Quadro 8, pode-se observar que existe uma grande quantidade de fatores de risco classificados como “Muito Alto” e “Alto”. Isso ocorre devido ao fato que na presente aplicação piloto estão sendo analisados uma quantidade limitada de materiais e, portanto, foram previamente selecionados apenas os materiais os quais os especialistas julgavam como mais críticos, como descrito na seção 6.3. Outro fator que justifica a quantidade de fatores de risco classificados como “Muito Alto” e “Alto” é a Base de Regras ser não-compensatória, na qual existem mais regras com o consequente “Alto” e “Muito Alto”, do que em uma Base de Regras com regras apenas compensatórias, na qual é mais comum consequentes como “Médio”.

Ao se estratificar os fatores de risco focando nos materiais, a Tabela 3 foi elaborada. Ao observá-la, percebe-se que os fatores de risco relacionados ao material “Resina X” são os que estão com maior importância, seguidos pelos materiais “Sólido Y” e “Solvente Z” respectivamente. Ao indagar os especialistas sobre esses resultados, eles explicaram que realmente estão coerentes com a realidade. A “Resina X” é uma matéria-prima essencial para a empresa pois ela está presente na formulação da maioria dos produtos que a empresa produz. Ainda assim, a empresa possui poucos fornecedores desse material, os quais são internacionais. O “Sólido Y” também é de grande importância para a empresa, pois este é matéria-prima de um produto que apenas a empresa X produz. Além disso, da mesma forma que a “Resina X”, a

empresa possui poucos fornecedores e são internacionais. O “Solvente Z”, apesar de também ser um material de grande importância para a empresa, possui dois fornecedores nacionais.

Tabela 3 – Ocorrências das classificações por material.

MATERIAL	CLASSES	OCORRÊNCIAS
RESINA X	Muito Alto	2
	Alto	3
	Médio	0
	Baixo	0
	Muito Baixo	0
SÓLIDO Y	Muito Alto	2
	Alto	2
	Médio	1
	Baixo	0
	Muito Baixo	0
SOLVENTE Z	Muito Alto	1
	Alto	4
	Médio	0
	Baixo	0
	Muito Baixo	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.9 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Para entender como variações dos parâmetros do FRBCS afetam os resultados, foram comparados três cenários diferentes. Além disso, os cenários visam comparar os resultados obtidos com aplicações do FIS de Mamdani e utilizando os números defuzzificados de saída para ordenação e classificação dos fatores de risco. Os cenários são descritos a seguir:

- **Cenário 1:** Utiliza uma Base de Regras com **regras não-compensatórias**, porém utiliza o **operador de agregação “mínimo”** para a agregação das regiões *fuzzy* dos consequentes das regras ativadas. Como foi descrito na seção 4.3, o operador de agregação mínimo, Equação (38), é indicado para agregar as regiões *fuzzy* resultante das regras ativadas é indicado para uma agregação

não-compensatória. Deste modo, as entradas devem passar pelo mecanismo de inferência de Mamdani seguindo os seguintes parâmetros:

- Operador de implicação: operador de Mamdani, Equação (28);
 - Operador de composição: Max-Min, Equação (32);
 - Operador de agregação: Mínimo, Equação (38).
- **Cenário 2:** Utiliza uma Base de Regras com **regras não-compensatórias**, porém utiliza o **operador de agregação “máximo”** para a agregação das regiões *fuzzy* dos consequentes das regras ativadas. Como foi descrito na seção 4.3, o operador de agregação máximo, Equação (39), é o operador mais utilizado na literatura para aplicações do FIS. Deste modo, as entradas devem passar pelo mecanismo de inferência de Mamdani seguindo os seguintes parâmetros:
 - Operador de implicação: operador de Mamdani, Equação (28);
 - Operador de composição: Max-Min, Equação (32);
 - Operador de agregação: Máximo, Equação (39).
 - **Cenário 3:** Utiliza os mesmos parâmetros do Cenário 2, porém com uma Base de Regras **apenas com regras compensatórias** a qual é representada pelo Quadro 9.

Quadro 9 – Base de Regras com regras apenas compensatórias.

Regra	Se			ENTÃO	Nível de Risco
	Severidade	E	Ocorrência		
1	Muito Baixo	E	Muito Baixo	ENTÃO	Muito Baixo
2	Muito Baixo	E	Baixo	ENTÃO	Muito Baixo
3	Muito Baixo	E	Médio	ENTÃO	Baixo
4	Muito Baixo	E	Alto	ENTÃO	Baixo
5	Muito Baixo	E	Muito Alto	ENTÃO	Médio
6	Baixo	E	Muito Baixo	ENTÃO	Baixo
7	Baixo	E	Baixo	ENTÃO	Baixo
8	Baixo	E	Médio	ENTÃO	Baixo
9	Baixo	E	Alto	ENTÃO	Médio
10	Baixo	E	Muito Alto	ENTÃO	Médio
11	Médio	E	Muito Baixo	ENTÃO	Baixo

12	Médio	E	Baixo	ENTÃO	Médio
13	Médio	E	Médio	ENTÃO	Médio
14	Médio	E	Alto	ENTÃO	Médio
15	Médio	E	Muito Alto	ENTÃO	Alto
16	Alto	E	Muito Baixo	ENTÃO	Médio
17	Alto	E	Baixo	ENTÃO	Médio
18	Alto	E	Médio	ENTÃO	Alto
19	Alto	E	Alto	ENTÃO	Alto
20	Alto	E	Muito Alto	ENTÃO	Alto
21	Muito Alto	E	Muito Baixo	ENTÃO	Médio
22	Muito Alto	E	Baixo	ENTÃO	Médio
23	Muito Alto	E	Médio	ENTÃO	Alto
24	Muito Alto	E	Alto	ENTÃO	Muito Alto
25	Muito Alto	E	Muito Alto	ENTÃO	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após aplicar o modelo utilizando as mesmas entradas da aplicação piloto, fazendo apenas as alterações nos parâmetros que definem os cenários 1, 2 e 3, foram obtidas as classificações apresentadas no Quadro 10. Analisando-se os resultados do quadro, é possível perceber que ao se comparar os resultados entre as classificações, nota-se que não houveram divergências entre as classificações do cenário 1 e do cenário 2. Isso ocorre devido ao método de classificação ser independente do operador de agregação dos conjuntos *fuzzy* resultantes das regras ativadas. O cenário 3 é divergente dos outros cenários pois, como a base de regras tem apenas regras compensatórias, os fatores de risco com menores valores para a ocorrência compensaram os valores altos de severidade. Deste modo, observando-se a Tabela 1, os fatores de risco R1, R3, R6, R13, R14 e R15, os quais possuem um nível muito alto de severidade foram classificados como “Médio”, devido ao seu nível muito baixo de ocorrência.

Quadro 10 – Classificação dos fatores de risco para cada cenário.

Classes de risco	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Muito Alto	R2, R5, R7, R9, R11	R2, R5, R7, R9, R11	R2, R5, R7, R9, R11
Alto	R1, R3, R4, R6, R10, R12, R13, R14, R15	R1, R3, R4, R6, R10, R12, R13, R14, R15	R4, R10, R12
Médio	R8	R8	R1, R3, R6, R8, R13, R14, R15
Baixo			
Muito Baixo	R16	R16	R16

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além das diferenças entre as classificações para cada cenário, também foram analisados os níveis de risco, *output* numérico do FIS, os quais podem ser observados na Tabela 4. O operador de agregação “mínimo”, utilizado no cenário 1, mostrou-se inadequado para comparar os níveis de risco, uma vez que a região *fuzzy* resultante da agregação das regras ativadas pode possuir área nula em uma situação na qual o risco deveria ser classificado como “Alto”, como acontece no R12.

Tabela 4 - Níveis de risco para cada cenário.

MATERIAL	FATOR DE RISCO	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
RESINA X	R1 - Risco de disponibilidade	0,6250	0,6319	0,5000
	R2 - Risco de flexibilidade de pagamento	0,8750	0,8074	0,8074
	R3 - Risco de qualidade do material	0,6250	0,6524	0,5000
	R4 - Risco de viabilidade comercial	0,6250	0,7364	0,7364
	R5 - Risco de entrega	0,8750	0,7872	0,7872
SÓLIDO Y	R6 - Risco de disponibilidade	0,6250	0,6497	0,5000
	R7 - Risco de flexibilidade de pagamento	0,8750	0,7872	0,7872
	R8 - Risco de viabilidade comercial	0,6250	0,622	0,5000

SOLVENTE Z	R9 - Risco de entrega	0,8750	0,8121	0,8121
	R10 - Risco de dificuldade de comunicação	0,8750	0,7562	0,7562
	R11 - Risco de flexibilidade de pagamento	0,8750	0,8023	0,8023
	R12 - Risco de viabilidade comercial	0,000	0,7500	0,7500
	R13 - Risco de qualidade de material	0,6250	0,647	0,5000
	R14 - Risco de disponibilidade	0,6250	0,6319	0,5000
	R15 - Risco de capacidade financeira	0,6250	0,6494	0,5000
	R16 – Risco de confiabilidade técnica	0,1241	0,2129	0,2129

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos níveis de risco obtidos, é possível obter o *ranking* dos fatores de risco, sendo este o método o qual a diversos trabalhos buscam avaliar e ranquear riscos por meio do FIS. A comparação dos *rankings* entre o cenário 1, o cenário 2, o cenário 3 e o método proposto na aplicação piloto, podem ser observados no Quadro 11. Em relação ao cenário 1, houve uma repetição dos *rankings* entre os seis primeiros (R2, R5, R7, R9, R10 e R11) com um nível de risco de 0.875, seguidos pelos próximos oito fatores de risco (R1, R3, R4, R6, R8, R13, R14 e R15) com 0.625 e últimos colocados R16 com 0.1241 e R12 com 0. Desta forma, os cinco primeiros riscos empataram em primeiro lugar, os oito próximos em segundo, o R16 em terceiro e o R12 em quarto. Portanto, o ranqueamento entre os fatores de risco destaca ainda mais como

o uso do operador mínimo não é adequado para comparar níveis de risco. Em relação às outras comparações, pode-se observar que os *rankings* provenientes de os cenários 2, 3 e 4 são similares para os fatores de risco com maior ranking. Note que, devido aos fatores de risco R1 R3, R6, R8, R13, R14 e R15 possuem o nível de risco no valor de 0.5, todos ficam alocados com a 9ª posição no *ranking* para o cenário 3. Isso ocorre devido à base de regras que possui uma maior quantidade de regras com o consequente “Médio”, de modo a convergir uma parte dos resultados para um mesmo valor. Esse comportamento dos níveis de risco causado pela base de regras do cenário 3 pode ser observado na superfície representada na Figura 23, gerada por meio do *ToolBox* do software Matlab® versão R2015a. Em contrapartida, a base de regras com regras não-compensatórias, do cenário 1 e do cenário 2, gera uma superfície com resultados menos repetitivos, representada pela Figura 24.

Quadro 11 - *Rankings* para fatores de risco para cenários e aplicação piloto.

	Ordenação
Cenário 1	$R2 = R5 = R7 = R9 = R10 = R11 > R1 = R3 = R4 = R6 = R8 = R13 = R14 = R15 > R16 > R12$
Cenário 2	$R9 > R2 > R11 > R5 > R7 > R10 > R12 > R4 > R3 > R6 > R15 > R13 > R14 > R8 > R1 > R16$
Cenário 3	$R9 > R2 > R11 > R5 > R7 > R10 > R12 > R4 > R1 = R3 = R6 = R8 = R13 = R14 = R15 > R16$
Aplicação Piloto	$R9 > R2 > R11 > R5 > R7 > R10 > R3 > R13 > R6 > R15 > R1 = R4 = R12 = R14 > R8 > R16$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 – Superfície do cenário 3 gerada por regras compensatórias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 – Superfície do cenário 2 gerada por regras não-compensatórias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como discutido no capítulo 1, todos os métodos existentes de classificação de riscos baseados no FIS classificam os riscos baseados em “faixas de corte”. Deste modo, para

diferentes intervalos de valores os quais o nível de risco poderia estar inserido, o mesmo deveria ter diferentes classificações. Usando o mesmo tipo de metodologia, a fim de uma análise comparativa, o presente trabalho propôs as faixas de corte apresentada na Tabela 5. Ao se utilizar os dados dos cenários 1, 2 e 3 da Tabela 4 e as faixas de corte da Tabela 5, os riscos foram classificados como pode ser observado na Quadro 12. Desta maneira, é possível que os fatores de risco classificados com faixas de corte apresentam uma alta quantidade de repetições das classificações das alternativas. No cenário 1, apesar da classificação dos fatores de risco ser similar à classificação do modelo proposto apresentada no Quadro 8, o método classificou o risco R12 como “Muito Baixo”. Esse resultado mostra que o método não é adequado, pois R12 possui apenas avaliações como “Médio”, “Alto” e “Muito Alto” para seus níveis de severidade e ocorrência, como pode ser observado no Quadro 7. No cenário 2, mais de 80% dos riscos foram classificados como “Alto” e no cenário 3, metade dos riscos foram classificados como “Alto” e a outra metade foi quase toda classificada como “Médio”, com exceção do R16. Uma alta quantidade de repetições das classificações das alternativas prejudica o processo decisório, o que pode ser ainda mais agravante ao se analisar uma grande quantidade de fatores de risco.

Tabela 5 – Faixas de corte.

	Limite Inferior	Limite Superior
Muito Baixo	0,0000	0,1250
Baixo	0,1250	0,3750
Médio	0,3750	0,6250
Alto	0,6250	0,8750
Muito Alto	0,8750	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 12 – Classificação dos fatores de risco por faixas de corte.

Classes de risco	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Muito Alto	R2, R5, R7, R9, R10, R11		
Alto	R1, R3, R4, R6, R8, R13, R14, R15	R2, R3, R4, R5, R6, R7, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15	R2, R4, R5, R7, R9, R10, R11, R12
Médio		R8	R1, R3, R6, R8, R13, R14, R15
Baixo		R16	R16
Muito Baixo	R12, R16		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para analisar o comportamento de diferentes entradas para o modelo de decisão foram realizadas diversas simulações. Para isso, primeiramente foi analisado o impacto da hesitação dos decisores durante a aplicação piloto. Foram selecionados os fatores de risco que avaliados com hesitação dos decisores na aplicação (R1, R2, R3, R9 e R15) e criou-se dez simulações (S1 a S10), sendo cinco delas (S1 a S5) aproximando as avaliações com hesitação para seus extremos inferiores e cinco delas (S6 a S10) para os extremos superiores delas. Por exemplo, considere o fator de risco R1 que foi avaliado com uma ocorrência “Entre Baixo e Médio” pelo especialista 1. Neste caso, pode-se aproximar o julgamento para baixo como “Baixo”, no extremo inferior, ou aproximá-lo para cima como “Médio”, no extremo superior, sendo a simulação S1 relativa ao extremo inferior e a S6 relativa ao extremo superior. As entradas das simulações estão representadas no Quadro 13 e os resultados são apresentados na Tabela 6. Analisando-se as avaliações dos fatores de risco R1, R2, R3, R9 e R15, no Quadro 7, percebe-se que poucos decisores hesitaram e a hesitação deles foi pequena, hesitando apenas entre dois termos linguísticos. Isso justifica os resultados das simulações S1 a S10, que mesmo variando as hesitações, tanto para cima, quanto para baixo, não foi o suficiente para alterar as classificações dos riscos, porém pode mudar a ordem do *ranking* dos fatores de risco. Por exemplo, na aplicação piloto o fator de risco R2 foi classificado em 2º no *ranking*, porém ao aproximar a avaliação hesitante para seu extremo superior ele subiria para a primeira a 1ª posição no *ranking*.

A partir dos resultados das simulações S1 a S10, optou-se por criar a simulação S11, a qual possui mais decisores hesitando e com hesitações entre mais termos linguísticos. Além disso, foram criadas as simulações S12 e S13, as quais utilizaram as avaliações da S11, porém aproximando as avaliações com hesitações para seus extremos inferiores e superiores respectivamente. As entradas são apresentadas no Quadro 13 e os resultados são apresentados na Tabela 6. Ao se analisar os resultados das simulações S11, S12 e S13, percebe-se que para o S11 o fator de risco foi classificado como “Médio”, o S12 como “Baixo” e o S13 como “Alto”. Isso demonstra que a possibilidade de hesitação tem impacto também nas classificações dos riscos, principalmente em situações nas quais os especialistas têm maior dificuldade em avaliar o fator de risco.

Além disso, procurou-se analisar como as regras não-compensatórias afetam as classificações e para isso foram criadas as simulações S14 a S17. As avaliações linguísticas que compõem as entradas para as simulações são encontradas no Quadro 13 e os resultados das simulações são encontrados na Tabela 6. Ressalta-se que as todas as avaliações, para todos os especialistas, em relação à ocorrência do fator de risco são “Muito Baixa”. Em relação à severidade para a S14, uma avaliação foi considerada como “Muito Alta” e três consideradas como “Alta”. Note que, deste modo, três especialistas ativam a Regra 16, do Quadro 6, e apenas um especialista ativa a Regra 21. Ainda assim, o fator de risco foi classificado como “Alto”, mesmo com a Regra 16 contribuindo para classificá-lo como “Médio”.

A simulação S15 analisou a hipótese na qual se reduz ainda mais a severidade do fator de risco. Deste modo, uma avaliação foi considerada como “Muito Alta” e duas foram consideradas como “Alta” e uma foi considerada como “Média”. Da mesma maneira que na S14, o risco foi classificado como “Alto”. Mais uma vez, reduzindo a severidade relacionada ao fator de risco, a simulação S16 considerou uma avaliação como “Muito Alta”, uma como “Alta” e duas consideradas como “Média”. Neste caso, o risco foi classificado como “Médio”. A fim de buscar um meio termo entre o grau de severidade do fator de risco entre as simulações S15 e S16, a S17 considerou uma avaliação de severidade como “Muito Alta”, uma como “Entre Alta e Média”, outra como “Alta” e uma como “Média”. Desta maneira, a S17 teve o fator de risco classificado como “Alto”. Ao se analisar as simulações S14 a S17, pode-se concluir que a regra não-compensatória prevalece quando o valor da agregação das severidades dos especialistas é superior a 0.875, sendo este o valor onde o número triangular *fuzzy*, definido na Parametrização *fuzzy*, passa a ter maior pertencimento ao termo “Muito Alto” do que ao termo “Alto”, como pode ser observado na Figura 22. Portanto, essa análise mostra a

importância de como a definição dos parâmetros dos termos linguísticos podem afetar as classificações resultantes do método, o que fica ainda mais em evidência devido às regras não-compensatórias. Além disso, essa análise deixa evidente que é possível ajustar os limites dos números *fuzzy* a fim de se buscar resultados mais realistas e que contribuam de maneira mais efetiva para o processo decisório.

Quadro 13 – Avaliações linguísticas da severidade e ocorrência dos fatores de risco para as simulações.

Simulação de fator de risco	Especialista 1		Especialista 2		Especialista 3		Especialista 4	
	Ocorrência	Severidade	Ocorrência	Severidade	Ocorrência	Severidade	Ocorrência	Severidade
S1	B	A	MB	A	MB	MA	MB	M
S2	A	A	A	A	MA	MA	MA	MA
S3	MB	A	B	MA	B	A	MB	A
S4	M	MA	MA	MA	MA	MA	MA	A
S5	B	MA	B	A	MB	MA	MB	A
S6	M	A	MB	A	MB	MA	MB	M
S7	A	MA	A	A	MA	MA	MA	MA
S8	MB	MA	B	MA	B	A	MB	MA
S9	A	MA	MA	MA	MA	MA	MA	A
S10	M	MA	B	A	MB	MA	MB	A
S11	MB	M~MA	MB	M~A	MB	A~MA	MB	M~A
S12	MB	M	MB	M	MB	A	MB	M
S13	MB	MA	MB	A	MB	MA	MB	A
S14	MB	MA	MB	A	MB	A	MB	A
S15	MB	MA	MB	M	MB	A	MB	A
S16	MB	MA	MB	M	MB	M	MB	A
S17	MB	MA	MB	M~A	MB	M	MB	A

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Resultados das simulações.

Simulação	Agregação Ocorrência	Agregação Severidade	Grau de compatibilidade de cada classe					Classe
			Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	
S14	0,0625	0,8949			0,4204	0,5796		Alto
S15	0,0625	0,8837			0,4653	0,5347		Alto
S16	0,0625	0,8713			0,5149	0,4851		Médio
S17	0,0625	0,8775			0,4901	0,5099		Alto
S5	0,0969	0,9116			0,3536	0,6124		Alto
S6	0,1075	0,8837			0,4653	0,5347		Alto
S7	0,9257	0,9257				0,2973	0,7027	Muito Alto
S8	0,0969	0,9186			0,3254	0,6124		Alto
S9	0,9257	0,9257				0,2973	0,7027	Muito Alto
S10	0,1213	0,9116			0,3536	0,5149		Alto
S11	0,0625	0,8199			0,7203	0,2797		Médio
S12	0,0625	0,6204		0,5186	0,4814			Baixo
S13	0,0625	0,9116			0,3536	0,6464		Alto
S14	0,0625	0,8949			0,4204	0,5796		Alto
S15	0,0625	0,8837			0,4653	0,5347		Alto
S16	0,0625	0,8713			0,5149	0,4851		Médio
S17	0,0625	0,8775			0,4901	0,5099		Alto

Fonte: Elaborado pelo autor.

7 CONCLUSÃO

A partir da revisão da literatura relacionada a gestão de riscos de suprimento, foram encontradas cinco grandes oportunidades de estudo. A primeira trata da necessidade de lidar adequadamente com a imprecisão presente nas avaliações humanas devido a suas incertezas ou falta de dados. A segunda considera a importância do uso de uma técnica adequada para o processo de decisão ser em grupo. A terceira destaca a importância de considerar que fatores de risco com um nível de severidade muito alto não sejam compensados por um nível de ocorrência muito baixo. A quarta oportunidade considera a importância do uso de técnicas para classificação dos fatores de risco e a carência de estudos que utilizem o FRBCS para classificá-los. Finalmente, a quinta oportunidade escoa da escassez de estudos que utilizam dados reais para a aplicação de modelos para apoiar a avaliação de riscos de fornecimento.

Deste modo, para contemplar todas essas oportunidades simultaneamente, a presente dissertação propôs um modelo de processo de decisão que combine o uso da representação linguística HFLTS para modelar matematicamente a hesitação dos decisores durante o processo de julgamento em grupo combinado com o FRBCS para inferir e classificar cada fator de risco avaliado de maneira compensatória e não-compensatória quando necessário. O trabalho também inclui a modelagem computacional da proposta e a realização de uma aplicação piloto para priorizar os riscos de fornecimento que possuem maior importância a partir da avaliação dos decisores.

Ressalta-se que não foram encontrados estudos publicados em periódicos nos quais: (1) considere a necessidade da não-compensação entre a severidade e ocorrência para a classificação de riscos de fornecimento; (2) propõem o uso de um FRBCS para a avaliação de riscos a partir de sua severidade e ocorrência; e (3) que modela matematicamente a hesitação dos decisores, por meio do HFLTS, para utilizar como entrada para um FIS. O presente, estudo aborda todas essas questões de maneira simultânea, além de considerar o processo da tomada de decisão em grupo e utilizar dados de uma empresa real para uma aplicação piloto.

Os resultados da aplicação piloto mostraram-se condizentes com a realidade da empresa e foram validados pelos especialistas. As análises de sensibilidade comprovaram o comportamento não-compensatório do modelo. Além disso, foi demonstrado que é possível ajustar os parâmetros dos números *fuzzy* para obter resultados que auxiliem mais o processo decisório, por exemplo, em uma situação na qual o método possua grande quantidade de repetição de classes.

As análises de sensibilidades também apontaram que ao se considerar a hesitação dos decisores, tanto a ordenação das importâncias dos fatores de risco, quanto às classificações deles podem ser alteradas. Outra vantagem de se utilizar o HFLTS combinado com o FRBCS é que essa opção fornece muito mais opções de entradas para o modelo, uma vez que se fosse utilizado apenas termos linguísticos sem hesitação, apenas seria possível utilizar os valores centrais de cada termo linguístico ativado.

O método também mostrou-se superior aos métodos existentes na literatura para avaliação de riscos baseados no FIS. Os métodos de ordenação existentes oferecem menos informações para apoiar o processo decisório, uma vez que não separam os fatores de risco em classes. As classes são informações importantes para o processo decisório sobre como agir em relação ao fator risco (Certa et al., 2017). Os métodos de classificação utilizam "faixa de cortes" para classificar os riscos, sendo este um método mais simplório de classificação e mostrou obter uma maior quantidade de riscos classificados em uma mesma classe, o que pode prejudicar o processo decisório. O *output* do FIS de Mamdani é uma saída *crisp* e, portanto, é mais apropriado para métodos de ordenação.

7.1 LIMITAÇÕES DE PESQUISA

Apesar do presente estudo ter atingido seus objetivos, algumas limitações devem ser destacadas, dentre elas:

- A quantidade de fatores de risco analisados foi pequena. Na realidade da empresa, existem muitos mais matérias e tipos de riscos para serem analisados, porém devido à baixa disponibilidade de tempo dos integrantes da empresa, não foi possível avaliar muitos fatores de risco. A quantidade de fatores de risco é um fator importante para a pesquisa, uma vez que uma das principais contribuições de um método de classificação de riscos é o suporte que ele oferece para a tomada de decisão quando se considera muitos fatores de risco (Certa et al., 2017);
- Novamente devido a limitação de tempo que os mesmos dispunham para apoiar a pesquisa, as parametrizações dos conjuntos *fuzzy* e dos conjuntos *hesitant fuzzy* foram elaboradas pelo autor sem o apoio dos especialistas. Esse fator pode causar grande impacto nos resultados, uma vez que a maneira como os especialistas interpretam os termos linguísticos utilizados tem efeito direto nas classificações dos fatores de risco;
- Apesar do modelo permitir que cada tomador de decisão tenha um peso diferente, não foi proposta nenhuma metodologia para encontrar o peso de cada um deles.

7.2 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Para novos estudos sugere-se que:

- Sejam avaliados outros métodos de inferência para o FRBCS para estudos de avaliação de riscos. No presente estudo foi utilizado um dos métodos de inferência mais simples e difundidos, também conhecido como “método da regra vencedora”;
- Utilizar outros métodos para tomada de decisão em grupo que busquem uma maior aceitação de todos os especialistas envolvidos, por exemplo, métodos que envolvem abordagens de *soft consensus* para apoiar o *consensus reaching process*;
- Fazer análises com outras generalizações dos conjuntos *fuzzy*, como a *Intuitionistic Fuzzy*, ou representações mais recentes como *Dual Hesitant Fuzzy Sets* ou *Double Hierarchy Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set*.

REFERÊNCIAS

- Alikhani, R., Torabi, S. A., & Altay, N. (2019). Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria. *International Journal of Production Economics*, 208, 69-82.
- Abdul-Rahman, H., Wang, C., & Lee, Y. L. (2013). Design and pilot run of fuzzy synthetic model (FSM) for risk evaluation in civil engineering. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(2), 217-238.
- Abdel-Basset, M., Gunasekaran, M., Mohamed, M., & Chilamkurti, N. (2019). A framework for risk assessment, management and evaluation: Economic tool for quantifying risks in supply chain. *Future Generation Computer Systems*, 90, 489-502.
- Akyildiz, H., & Montes, A. (2017). An integrated risk assessment based on uncertainty analysis for cargo vessel safety. *Safety science*, 92, 34-43.
- An, M., Chen, Y., & Baker, C. J. (2011). A fuzzy reasoning and fuzzy-analytical hierarchy process based approach to the process of railway risk information: A railway risk management system. *Information Sciences*, 181(18), 3946-3966.
- Andrić, J. M., & Lu, D. G. (2016). Risk assessment of bridges under multiple hazards in operation period. *Safety science*, 83, 80-92.
- Antonelli, M., Ducange, P., Marcelloni, F., & Segatori, A. (2015). A novel associative classification model based on a fuzzy frequent pattern mining algorithm. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 2086-2097.
- Aqlan, F., & Lam, S. S. (2015). A fuzzy-based integrated framework for supply chain risk assessment. *International Journal of Production Economics*, 161, 54-63.
- Arsad, R., Abdullah, M. N., Alias, S., & Isa, Z. (2017, September). Selection Input Output by Restriction Using DEA Models Based on a Fuzzy Delphi Approach and Expert Information. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 892, No. 1, p. 012010). IOP Publishing.
- Asan, U. M. U. T., Soyer, A., & Bozdog, E. (2016). An Interval Type-2 Fuzzy Prioritization Approach to Project Risk Assessment. *Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 26(6), 541-577.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 31000: Gestão de riscos — Diretrizes. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018
- Bali, Ö., Gümüş, S., & Dağdeviren, M. (2013). A group MADM method for personnel selection problem using Delphi technique based on intuitionistic fuzzy sets. *Journal of Management and Information Science*, 1(1), 1-13.
- Basu, G., Butner, K., Cope, E., Deleris, L., Dong, J., Helander, M., ... & Ray, B. (2007). Supply chain risk management: a delicate balancing act. *Management Science*, 51(5), 695-711.
- Bayrakdaroglu, A., & Yalçın, N. (2013). A fuzzy multi-criteria evaluation of the operational risk factors for the state-owned and privately-owned commercial banks in turkey. *Human and*

Ecological Risk Assessment: An International Journal, 19(2), 443-461.

Bharathi, S. V. (2017). Prioritizing and ranking the big data information security risk spectrum. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 18(3), 183-201.

Bertrand, J. W. M., & Fransoo, J. C. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), 241-264.

Bereskie, T., Haider, H., Rodriguez, M. J., & Sadiq, R. (2017). Small drinking water systems under spatiotemporal water quality variability: a risk-based performance benchmarking framework. *Environmental monitoring and assessment*, 189(9), 464.

Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & Mazzuto, G. (2018). Fuzzy cognitive maps for adverse drug event risk management. *Safety science*, 102, 194-210.

Bogataj, M., & Usenik, J. (2005). Fuzzy approach to the spatial games in the total market area. *International Journal of Production Economics*, 93, 493-503.

Bouyssou, D. (1986). Some remarks on the notion of compensation in MCDM. *European Journal of Operational Research*, 26(1), 150-160.

Bueno, S., & Salmeron, J. L. (2009). Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5221-5229.

Carpitella, S., Certa, A., Izquierdo, J., & La Fata, C. M. (2018). A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: A real-world case. *Reliability Engineering & System Safety*, 169, 394-402.

Carvalho, J. P. (2012). Rule based fuzzy cognitive maps in humanities, social sciences and economics. In *Soft Computing in Humanities and Social Sciences* (pp. 289-300). Springer, Berlin, Heidelberg.

Carvalho, J. P., & Tome, J. A. B. (2001). Rule based fuzzy cognitive maps-expressing time in qualitative system dynamics. In *Fuzzy Systems, 2001. The 10th IEEE International Conference on* (Vol. 1, pp. 280-283). IEEE.

Certa, A., Enea, M., Galante, G. M., & La Fata, C. M. (2017). ELECTRE TRI-based approach to the failure modes classification on the basis of risk parameters: An alternative to the risk priority number. *Computers & Industrial Engineering*, 108, 100-110.

Chai, K. C., Jong, C. H., Tay, K. M., & Lim, C. P. (2016). A perceptual computing-based method to prioritize failure modes in failure mode and effect analysis and its application to edible bird nest farming. *Applied Soft Computing*, 49, 734-747.

Chang, K. H. (2015). A novel general risk assessment method using the soft TOPSIS approach. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 32(6), 408-421.

Chang, K. H., Wen, T. C., & Chung, H. Y. (2018). Soft failure mode and effects analysis using the OWG operator and hesitant fuzzy linguistic term sets. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 34(4), 2625-2639.

- Chaudhuri, A., Mohanty, B. K., & Singh, K. N. (2013). Supply chain risk assessment during new product development: a group decision making approach using numeric and linguistic data. *International Journal of Production Research*, 51(10), 2790-2804.
- Chen, P. S., & Wu, M. T. (2013). A modified failure mode and effects analysis method for supplier selection problems in the supply chain risk environment: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 634-642.
- Chen, S. M. (2001). Fuzzy group decision making for evaluating the rate of aggregative risk in software development. *Fuzzy Sets and Systems*, 118(1), 75-88.
- Chen, S. J., & Chen, S. M. (2003). Fuzzy risk analysis based on similarity measures of generalized fuzzy numbers. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 11(1), 45-56.
- Chen, T. Y. (2014). An interactive signed distance approach for multiple criteria group decision-making based on simple additive weighting method with incomplete preference information defined by interval type-2 fuzzy sets. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 13(05), 979-1012.
- Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Supply-chain breakdown. *MIT Sloan management review*, 46(1), 53-61.
- Cong, G., Zhang, J., Huazhong, T. C., & Lai, K. K. (2008). A variable precision fuzzy rough group decision-making model for IT offshore outsourcing risk evaluation. *Journal of Global Information Management (JGIM)*, 16(2), 18-34.
- Cordón, O., del Jesus, M. J., & Herrera, F. (1999). A proposal on reasoning methods in fuzzy rule-based classification systems. *International Journal of Approximate Reasoning*, 20(1), 21-45.
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management science*, 9(3), 458-467.
- Dağdeviren, M., & Yüksel, İ. (2008). Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. *Information sciences*, 178(6), 1717-1733.
- de Almeida, A. T., Alencar, M. H., Garcez, T. V., & Ferreira, R. J. P. (2017). A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management. *IMA Journal of Management Mathematics*, 28(2), 153-184.
- Deptuła, A. M., & Rudnik, K. (2018). Fuzzy approach using experts' psychological conditions to estimate the criteria importance for the assessment of innovative projects risk. *Management and Production Engineering Review*, 9.
- Dong, J., & Huo, H. (2017). Identification of Financing Barriers to Energy Efficiency in Small and Medium-Sized Enterprises by Integrating the Fuzzy Delphi and Fuzzy DEMATEL Approaches. *Energies*, 10(8), 1172.
- Efe, B., Kurt, M., & Efe, Ö. F. (2017). An integrated intuitionistic fuzzy set and mathematical programming approach for an occupational health and safety policy. *Gazi University Journal of Science*, 30(2), 73-95.

- Elsayed, T. (2009). Fuzzy inference system for the risk assessment of liquefied natural gas carriers during loading/offloading at terminals. *Applied Ocean Research*, 31(3), 179-185.
- Elsayed, T., Marghany, K., & Abdulkader, S. (2014). Risk assessment of liquefied natural gas carriers using fuzzy TOPSIS. *Ships and Offshore Structures*, 9(4), 355-364.
- Ezell, B. C., Bennett, S. P., Von Winterfeldt, D., Sokolowski, J., & Collins, A. J. (2010). Probabilistic risk analysis and terrorism risk. *Risk analysis*, 30(4), 575-589.
- Fanghua, H., & Guanchun, C. (2010). A fuzzy multi-criteria group decision-making model based on weighted Borda scoring method for watershed ecological risk management: a case study of three gorges reservoir area of China. *Water resources management*, 24(10), 2139-2165.
- Fattahi, R., & Khalilzadeh, M. (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. *Safety Science*, 102, 290-300.
- Foroozesh, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Mousavi, S. M. (2018). Sustainable-supplier selection for manufacturing services: a failure mode and effects analysis model based on interval-valued fuzzy group decision-making. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(9-12), 3609-3629.
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., & Zavadskas, E. K. (2012). Risk evaluation of tunneling projects. *Archives of civil and mechanical engineering*, 12(1), 1-12.
- Galo, N. R. Proposta de modelo de decisão para avaliação de fornecedores baseado no ELECTRE TRI para categorização e na teoria dos conjuntos fuzzy para a modelagem da incerteza e hesitação de múltiplos tomadores de decisão (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Geum, Y., Cho, Y., & Park, Y. (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(11-12), 3126-3142.
- Geramian, A., Mehregan, M. R., Garousi Mokhtarzadeh, N., & Hemmati, M. (2017). Fuzzy inference system application for failure analyzing in automobile industry. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(9), 1493-1507.
- Guimarães, A. C. F., & Lapa, C. M. F. (2007). Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. *Applied Soft Computing*, 7(1), 17-28.
- Gul, M., Guven, B., & Guneri, A. F. (2018). A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 3-16.
- Gitinavard, H., Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2016). 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 and Applications*, 27(6), 1593-1605.
- Hajighasemi, Z., & Mousavi, S. M. (2019). A new approach in failure modes and effects analysis based on compromise solution by considering objective and subjective weights with

interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Infinite Study*.

Hatami-Marbini, A., Tavana, M., Moradi, M., & Kangi, F. (2013). A fuzzy group Electre method for safety and health assessment in hazardous waste recycling facilities. *Safety science*, 51(1), 414-426.

He, Y., Xu, Z., & Gu, J. (2016). An approach to group decision making with hesitant information and its application in credit risk evaluation of enterprises. *Applied Soft Computing*, 43, 159-169.

Hsueh, S. L., Lee, J. R., & Chen, Y. L. (2013). DFAHP multicriteria risk assessment model for redeveloping derelict public buildings. *International Journal of Strategic Property Management*, 17(4), 333-346.

Huang, J., Li, Z. S., & Liu, H. C. (2017). New approach for failure mode and effect analysis using linguistic distribution assessments and TODIM method. *Reliability Engineering & System Safety*, 167, 302-309.

Kraljic, P. (1983). Purchasing must become supply management. *Harvard business review*, 61(5), 109-117.

Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2017). Supplier evaluation and selection in fuzzy environments: a review of MADM approaches. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 30(1), 1073-1118.

Hallikas, J., Karvonen, I., Pulkkinen, U., Virolainen, V. M., & Tuominen, M. (2004). Risk management processes in supplier networks. *International Journal of Production Economics*, 90(1), 47-58.

Herrera, F. (2008). Genetic fuzzy systems: taxonomy, current research trends and prospects. *Evolutionary Intelligence*, 1(1), 27-46.

Ho, W., Zheng, T., Yildiz, H., & Talluri, S. (2015). Supply chain risk management: a literature review. *International Journal of Production Research*, 53(16), 5031-5069.

Hsu, Y. L., Lee, C. H., & Kreng, V. B. (2010). The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 419-425.

Hu, S., & Dong, Z. S. (2019). Supplier selection and pre-positioning strategy in humanitarian relief. *Omega*, 83, 287-298.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ISO 31010: Risk management —Risk assessment techniques. Geneva: IEC, 2009

Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tomizawa, G., Tatsuta, R., & Mieno, H. (1993). The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy sets and systems*, 55(3), 241-253.

Ishibuchi, H., Nozaki, K., & Tanaka, H. (1992). Distributed representation of fuzzy rules and its application to pattern classification. *Fuzzy sets and systems*, 52(1), 21-32.

- Ishibuchi, H., & Nakashima, T. (2001). Effect of rule weights in fuzzy rule-based classification systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 9(4), 506-515.
- Jamshidi, A., Ait-kadi, D., Ruiz, A., & Rebaiaia, M. L. (2018). Dynamic risk assessment of complex systems using FCM. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1070-1088.
- Jenab, K., & Dhillon, B. S. (2005). Group-based failure effects analysis. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 12(04), 291-307.
- Jiang, Y., & Zhang, Q. (2013). A Fuzzy Comprehensive Assessment System of Dam Failure Risk Based on Cloud Model. *JCP*, 8(4), 1043-1049.
- KarimiAzari, A., Mousavi, N., Mousavi, S. F., & Hosseini, S. (2011). Risk assessment model selection in construction industry. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9105-9111.
- Khorshidi, H. A., Gunawan, I., & Nikfalazar, S. (2016). Application of fuzzy risk analysis for selecting critical processes in implementation of SPC with a case study. *Group Decision and Negotiation*, 25(1), 203-220.
- Ko, W. C. (2013). Exploiting 2-tuple linguistic representational model for constructing HOQ-based failure modes and effects analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 64(3), 858-865.
- Lazzerini, B., & Mkrtchyan, L. (2011). Analyzing risk impact factors using extended fuzzy cognitive maps. *IEEE Systems Journal*, 5(2), 288-297.
- Lee, E. S., & Li, R. J. (1988). Comparison of fuzzy numbers based on the probability measure of fuzzy events. *Computers & Mathematics with Applications*, 15(10), 887-896.
- Lee, H. M. (1996). Group decision making using fuzzy sets theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development. *Fuzzy sets and Systems*, 80(3), 261-271.
- Lee, H. M. (1999). Generalization of the group decision making using fuzzy sets theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development. *Information Sciences*, 113(3-4), 301-311.
- Lee, K. C., Lee, N., & Lee, H. (2012). Multi-agent knowledge integration mechanism using particle swarm optimization. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(3), 469-484.
- Li, D. P., He, J. Q., Cheng, P. F., Wang, J. Q., & Zhang, H. Y. (2018). A Novel Selection Model of Surgical Treatments for Early Gastric Cancer Patients Based on Heterogeneous Multicriteria Group Decision-Making. *Symmetry*, 10(6), 223.
- Li, C. B., Qi, Z. Q., & Feng, X. (2014). A multi-risks group evaluation method for the informatization project under linguistic environment. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26(3), 1581-1592.
- Lima-Junior, F. R., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2013). Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. *Gestão & Produção*, 20(4), 781-801.
- Lima-Junior, F. R., & Carpinetti, L. C. R. (2017). Quantitative models for supply chain

performance evaluation: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 333-346.

Lima-Junior, F. R., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2013). A fuzzy inference and categorization approach for supplier selection using compensatory and non-compensatory decision rules. *Applied Soft Computing*, 13(10), 4133-4147.

Lima-Junior, F. R., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209.

Lin, Y., & Wang, Y. (2016). Group decision making with consistency of intuitionistic fuzzy preference relations under uncertainty. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, (99), 1-9.

Liu, J., Martínez, L., Wang, H., Rodríguez, R. M., & Novozhilov, V. (2010). Computing with words in risk assessment. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3(4), 396-419.

Liu, H. C., Fan, X. J., Li, P., & Chen, Y. Z. (2014). Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 34, 168-177.

Liu, H. C., Li, Z., Song, W., & Su, Q. (2017). Failure mode and effect analysis using cloud model theory and PROMETHEE method. *IEEE Transactions on Reliability*, 66(4), 1058-1072.

Liu, H. C., Liu, L., & Li, P. (2014). Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid weighted Euclidean distance operator. *International Journal of Systems Science*, 45(10), 2012-2030.

Liu, H. C., You, J. X., Shan, M. M., & Shao, L. N. (2015). Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach. *Soft Computing*, 19(4), 1085-1098.

Liu, H. C., You, J. X., & You, X. Y. (2014). Evaluating the risk of healthcare failure modes using interval 2-tuple hybrid weighted distance measure. *Computers & Industrial Engineering*, 78, 249-258.

Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert systems with applications*, 40(2), 828-838.

Liu, H. C., Liu, L., Liu, N., & Mao, L. X. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 12926-12934.

Liu, H. C., Liu, L., & Lin, Q. L. (2013). Fuzzy failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning and belief rule-based methodology. *IEEE Transactions on Reliability*, 62(1), 23-36.

Liu, J., Martínez, L., Wang, H., Rodríguez, R. M., & Novozhilov, V. (2010). Computing with words in risk assessment. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3(4), 396-419.

Lo, C. C., & Chen, W. J. (2012). A hybrid information security risk assessment procedure

considering interdependences between controls. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 247-257.

Kabak, Ö., & Ervural, B. (2017). Multiple attribute group decision making: A generic conceptual framework and a classification scheme. *Knowledge-Based Systems*, 123, 13-30.

Kayhan, B. M., Cebi, S., & Kahraman, C. (2019). Determining and Prioritizing Main Factors of Supplier Reliability in Construction Industry. *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 32.

Kayis, B., & Dana Karningsih, P. (2012). SCRIS: A knowledge-based system tool for assisting manufacturing organizations in identifying supply chain risks. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23(7), 834-852.

Kardaras, D. K., Karakostas, B., & Mamakou, X. J. (2013). Content presentation personalisation and media adaptation in tourism web sites using Fuzzy Delphi Method and Fuzzy Cognitive Maps. *Expert Systems with Applications*, 40(6), 2331-2342.

Karlsson, C. (Ed.). (2016). *Research methods for operations management*. Routledge.

Kaufmann, A., & Gupta, M. M. (1988). *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*. Elsevier Science Inc..

Kauppi, K., Longoni, A., Caniato, F., & Kuula, M. (2016). Managing country disruption risks and improving operational performance: risk management along integrated supply chains. *International Journal of Production Economics*, 182, 484-495.

Khan, F. I., & Haddara, M. R. (2004). Risk-based maintenance of ethylene oxide production facilities. *Journal of hazardous materials*, 108(3), 147-159.

Khan, M. S., & Quaddus, M. (2004). Group decision support using fuzzy cognitive maps for causal reasoning. *Group Decision and Negotiation*, 13(5), 463-480.

Kern, D., Moser, R., Hartmann, E., & Moder, M. (2012). Supply risk management: model development and empirical analysis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42(1), 60-82.

Klibi, W., Martel, A., & Guitouni, A. (2010). The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review. *European Journal of Operational Research*, 203(2), 283-293.

Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.

Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A. (2014). Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488, 85-99.

Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2016). An integrated methodology of FTA and fuzzy AHP for risk assessment in green supply chain. *International Journal of Operational Research*, 25(1), 77-99.

- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). r. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.
- Markowski, A. S., & Mannan, M. S. (2008). Fuzzy risk matrix. *Journal of hazardous materials*, 159(1), 152-157.
- Manuj, I., & Mentzer, J. T. (2008). Global supply chain risk management. *Journal of business logistics*, 29(1), 133-155.
- Maytorena, E., Winch, G. M., Freeman, J., & Kiely, T. (2007). The influence of experience and information search styles on project risk identification performance. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(2), 315-326.
- Medeiros, M., & Ferreira, L. (2018). Development of a purchasing portfolio model: an empirical study in a Brazilian hospital. *Production Planning & Control*, 29(7), 571-585.
- Mohsen, O., & Fereshteh, N. (2017). An extended VIKOR method based on entropy measure for the failure modes risk assessment—A case study of the geothermal power plant (GPP). *Safety science*, 92, 160-172.
- Mojtahedi, S. M. H., Mousavi, S. M., & Makui, A. (2010). Project risk identification and assessment simultaneously using multi-attribute group decision making technique. *Safety science*, 48(4), 499-507.
- Munir, M., Jajja, M. S. S., Chatha, K. A., & Farooq, S. (2020). Supply chain risk management and operational performance: The enabling role of supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 227, 107667.
- NICOLETTI, M. D. C., & CAMARGO, H. D. A. (2011). *Fundamentos da teoria de conjuntos fuzzy*. São Carlos: EdUFSCar.
- Ntouskas, T., & Polemi, N. (2012). STORM-RM: a collaborative and multicriteria risk management methodology. *International Journal of Multicriteria Decision Making* 7, 2(2), 159-177.
- Osiro, L., Lima-Junior, F. R., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development. *International Journal of Production Economics*, 153, 95-112.
- Patel, D. A., & Jha, K. N. (2016). Developing a Process to Evaluate Construction Project Safety Hazard Index Using the Possibility Approach in India. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(1), 04016081.
- Peiris, H. O. W., Perera, S. S. N., Chakraverty, S., & Ranwala, S. M. W. (2018). Development of a mathematical model to evaluate the rate of aggregate risk of invasive alien plant species: Fuzzy risk assessment approach. *International Journal of Biomathematics*, 11(04), 1850049.
- Pérez-Fernández, R., Alonso, P., Díaz, I., & Montes, S. (2015). Multi-factorial risk assessment: An approach based on fuzzy preference relations. *Fuzzy Sets and Systems*, 278, 67-80.
- Pourjavad, E., & Mayorga, R. V. (2017). A comparative study and measuring performance of manufacturing systems with Mamdani fuzzy inference system. *Journal of Intelligent*

Manufacturing, 1-13.

Pourjavad, E., & Shahin, A. (2018). The application of Mamdani fuzzy inference system in evaluating green supply chain management performance. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(3), 901-912.

Rafie, M., & Namin, F. S. (2015). Prediction of subsidence risk by FMEA using artificial neural network and fuzzy inference system. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(4), 655-663.

Raj Sinha, P., Whitman, L. E., & Malzahn, D. (2004). Methodology to mitigate supplier risk in an aerospace supply chain. *Supply Chain Management: an international journal*, 9(2), 154-168.

Rahimi, S. A., Jamshidi, A., Ruiz, A., & Aït-Kadi, D. (2016). A new dynamic integrated framework for surgical patients' prioritization considering risks and uncertainties. *Decision Support Systems*, 88, 112-120.

Rajabi, M., Mansourian, A., & Bazmani, A. (2012). Susceptibility mapping of visceral leishmaniasis based on fuzzy modelling and group decision-making methods. *Geospatial health*, 7(1), 37-50.

Randolph, J. (2009). A guide to writing the dissertation literature review. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 14(1), 13.

Ramkumar, M. (2016). A modified ANP and fuzzy inference system based approach for risk assessment of in-house and third party e-procurement systems. *Strategic Outsourcing: An International Journal*, 9(2), 159-188.

Ramkumar, M., Schoenherr, T., & Jenamani, M. (2016). Risk assessment of outsourcing e-procurement services: integrating SWOT analysis with a modified ANP-based fuzzy inference system. *Production Planning & Control*, 27(14), 1171-1190.

Rasheed, S., Wang, C., Yaqub, F., & Memon, S. (2015). Risk leveling in business environments-A novel approach for macro risk management. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(3), 738-762.

Rathore, R., Thakkar, J. J., & Jha, J. K. (2017). A quantitative risk assessment methodology and evaluation of food supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, 28(4), 1272-1293.

Renault, B. Y., & Agumba, J. N. (2016). Risk management in the construction industry: A new literature review.

Rezakhani, P. (2012). Fuzzy MCDM model for risk factor selection in construction projects. *Engineering Journal*, 16(5), 79-94.

Rodríguez, R. M., Martínez, L., Torra, V., Xu, Z. S., & Herrera, F. (2014). Hesitant fuzzy sets: state of the art and future directions. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(6), 495-524.

Rodriguez, R. M., Martinez, L., & Herrera, F. (2011). Hesitant fuzzy linguistic term sets for

decision making. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 20(1), 109-119.

Ross, T. J. (2010). *Fuzzy logic with engineering applications* (Vol. 2). New York: Wiley.

Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmaili, A., & Nobar, H. B. K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669.

Samadi, H., Nazari-Shirkouhi, S., & Keramati, A. (2014). Identifying and analyzing risks and responses for risk management in information technology outsourcing projects under fuzzy environment. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 13(06), 1283-1323.

Sarala, R., Zayaraz, G., & Vijayalakshmi, V. (2016). Fuzzy cognitive map-based reasoning for prediction of multi-stage attacks in risk assessment. *International Journal of Intelligent Engineering Informatics*, 4(2), 151-167.

Senol, Y. E., & Sahin, B. (2016). A novel real-time continuous fuzzy fault tree analysis (RC-FFTA) model for dynamic environment. *Ocean Engineering*, 127, 70-81.

Senthil, S., Murugananthan, K., & Ramesh, A. (2017). Analysis and prioritisation of risks in a reverse logistics network using hybrid multi-criteria decision making methods. *Journal of Cleaner Production*.

Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(9), 986-1004.

Shen, F., Xu, J., & Xu, Z. (2016). An outranking sorting method for multi-criteria group decision making using intuitionistic fuzzy sets. *Information Sciences*, 334, 338-353.

Sorooshian, S. (2014). Delay-based reliability analysis on construction projects. *Life Science Journal*, 11(3), 104-113.

Salmeron, J. L. (2010). Modelling grey uncertainty with fuzzy grey cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7581-7588.

Sodhi, M. S., Son, B. G., & Tang, C. S. (2012). Researchers' perspectives on supply chain risk management. *Production and operations management*, 21(1), 1-13.

Sodhi, M. S., & Tang, C. S. (2012). *Managing supply chain risk* (Vol. 172). Springer Science & Business Media.

Song, H. J., Miao, C. Y., Wuyts, R., Shen, Z. Q., D'Hondt, M., & Catthoor, F. (2011). An extension to fuzzy cognitive maps for classification and prediction. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 19(1), 116-135.

Stylios, C. D., & Groumpos, P. P. (2004). Modeling complex systems using fuzzy cognitive maps. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 34(1), 155-162.

Supply Chain Risk Leadership Council (2011). Supply chain risk management: a compilation of best practices. [http://www.scrcl.com/articles/Supply_Chain_Risk_Management_A_Compilation_of_Best_Practices_final\[1\].pdf](http://www.scrcl.com/articles/Supply_Chain_Risk_Management_A_Compilation_of_Best_Practices_final[1].pdf)

Syn, C. Z., Mokhtar, M., Feng, C. J., & Manurung, Y. H. (2011). Approach to prediction of laser cutting quality by employing fuzzy expert system. *Expert Systems with applications*, 38(6), 7558-7568.

Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International journal of production economics*, 103(2), 451-488.

Tang, O., & Musa, S. N. (2011). Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management. *International journal of production economics*, 133(1), 25-34.

Tavana, M. (2004). A subjective assessment of alternative mission architectures for the human exploration of Mars at NASA using multicriteria decision making. *Computers & Operations Research*, 31(7), 1147-1164.

Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M., & Kabli, M. R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing*, 17, 105-116.

Torabi, S. A., Baghersad, M., & Mansouri, S. A. (2015). Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79, 22-48.

Tooranloo, H. S., & sadat Ayatollah, A. (2016). A model for failure mode and effects analysis based on intuitionistic fuzzy approach. *Applied Soft Computing*, 49, 238-247.

Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529-539.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence- informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222.

Tsai, M. C. (2006). Constructing a logistics tracking system for preventing smuggling risk of transit containers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(6), 526-536.

Tummala, R., & Schoenherr, T. (2011). Assessing and managing risks using the supply chain risk management process (SCRMP). *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(6), 474-483.

Venkatesh, V. G., Rathi, S., & Patwa, S. (2015). Analysis on supply chain risks in Indian apparel retail chains and proposal of risk prioritization model using Interpretive structural modeling. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 26, 153-167.

Van de Walle, B., & Rutkowski, A. F. (2006). A fuzzy decision support system for IT service continuity threat assessment. *Decision support systems*, 42(3), 1931-1943.

- Vicente, E., Mateos, A., & Jiménez-Martín, A. (2014). Risk analysis in information systems: a fuzzification of the MAGERIT methodology. *Knowledge-Based Systems*, 66, 1-12.
- Wagner, S. M., & Bode, C. (2008). An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk. *Journal of business logistics*, 29(1), 307-325.
- Wang, L. E., Liu, H. C., & Quan, M. Y. (2016). Evaluating the risk of failure modes with a hybrid MCDM model under interval-valued intuitionistic fuzzy environments. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 175-185.
- Wang, L., & Gong, Z. (2017). Priority of a hesitant fuzzy linguistic preference relation with a normal distribution in meteorological disaster risk assessment. *International journal of environmental research and public health*, 14(10), 1203.
- Wang, M. Y., Lu, Y. B., & Zhang, J. L. (2006). Software outsourcing risk management: establishing outsourcee evaluation item systems. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 7(6), 1092-1098.
- Wang, P., Chao, K. M., Lo, C. C., Huang, C. L., & Younas, M. (2007). A fuzzy outranking approach in risk analysis of web service security. *Cluster Computing*, 10(1), 47-55.
- Wang, Y. M., & Elhag, T. M. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert systems with applications*, 31(2), 309-319.
- Wang, Y. M. (2009). Centroid defuzzification and the maximizing set and minimizing set ranking based on alpha level sets. *Computers & Industrial Engineering*, 57(1), 228-236.
- Wang, Y. M., & Elhag, T. M. (2007). A fuzzy group decision making approach for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering*, 53(1), 137-148.
- Wang, X., & Durugbo, C. (2013). Analysing network uncertainty for industrial product-service delivery: A hybrid fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 40(11), 4621-4636.
- Wu, D. D., & Olson, D. (2010). Enterprise risk management: a DEA VaR approach in vendor selection. *International Journal of Production Research*, 48(16), 4919-4932.
- Wu, S., Wang, J., Wei, G., & Wei, Y. (2018). Research on Construction Engineering Project Risk Assessment with Some 2-Tuple Linguistic Neutrosophic Hamy Mean Operators. *Sustainability*, 10(5), 1536.
- Wu, W., Kou, G., & Peng, Y. (2016). Group decision-making using improved multi-criteria decision making methods for credit risk analysis. *Filomat*, 30(15), 4135-4150.
- Wu, Y., Xu, C., Li, L., Wang, Y., Chen, K., & Xu, R. (2018). A risk assessment framework of PPP waste-to-energy incineration projects in China under 2-dimension linguistic environment. *Journal of Cleaner Production*, 183, 602-617.
- Xia, M., & Xu, Z. (2011). Hesitant fuzzy information aggregation in decision making. *International journal of approximate reasoning*, 52(3), 395-407.
- Xiao, Z., Chen, W., & Li, L. (2012). An integrated FCM and fuzzy soft set for supplier selection

- problem based on risk evaluation. *Applied Mathematical Modelling*, 36(4), 1444-1454.
- Wang, X., Stöblein, M., & Wang, K. (2010). Designing knowledge chain networks in China—A proposal for a risk management system using linguistic decision making. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 902-915.
- Xie, G., Wang, S., & Lai, K. K. (2011). Optimal β_k -stable interval in VPRS-based group decision-making: A further application. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 13757-13763.
- Xing, Y. J., & Xing, C. (2016). Model for evaluating the virtual enterprise's risk with 2-tuple linguistic information. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 31(1), 193-200.
- Xuejun, D., Yingwu, C., Jianwei, M., & Ming, L. (2012). A disaster warning model for a spacecraft launch based on information fusion and network inference. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 16(1-3), 142-171.
- Yang, Q., Chin, K. S., & Li, Y. L. (2018). A quality function deployment-based framework for the risk management of hazardous material transportation process. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 52, 81-92.
- Yazdi, M., Daneshvar, S., & Setareh, H. (2017). An extension to Fuzzy Developed Failure Mode and Effects Analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. *Safety science*, 98, 113-123.
- Yu, D. (2013). Triangular hesitant fuzzy set and its application to teaching quality evaluation. *JOURNAL OF INFORMATION & COMPUTATIONAL SCIENCE*, 10(7), 1925-1934.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, (1), 28-44.
- Zadeh, L. A. (1999). Fuzzy logic= computing with words. In *Computing with Words in Information/Intelligent Systems 1* (pp. 3-23). Physica, Heidelberg.
- Zammori, F., & Gabbrielli, R. (2012). ANP/RPN: A multi criteria evaluation of the risk priority number. *Quality and Reliability Engineering International*, 28(1), 85-104.
- Zhang, J. (2017). Evaluating regional low-carbon tourism strategies using the fuzzy Delphi-analytic network process approach. *Journal of cleaner production*, 141, 409-419.
- Zhang, S., Sun, B., Yan, L., & Wang, C. (2013). Risk identification on hydropower project using the IAHP and extension of TOPSIS methods under interval-valued fuzzy environment. *Natural hazards*, 65(1), 359-373.
- Zhang, L., Wu, X., Ding, L., & Skibniewski, M. J. (2013). A novel model for risk assessment of adjacent buildings in tunneling environments. *Building and Environment*, 65, 185-194.
- Zhang, Z., & Chu, X. (2011). Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 206-214.

Zimmermann, H. J. (2010). Fuzzy set theory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(3), 317-332.

APÊNDICE A – IMAGENS DO WEBSITE PARA COLETA DE DADOS

- Página Inicial:

PRIORIZAÇÃO DE RISCOS DE SUPRIMENTO

VOCÊ SABE COM CERTEZA QUAIS RISCOS DE SUPRIMENTO SÃO PRIORIDADE?

- Para priorizar os riscos de suprimentos as seguintes etapas serão necessárias:

1ª Etapa: Identificação de riscos

Sem a identificação de riscos, eles não poderão ser analisados e geridos. Essa etapa oferece suporte para a análise e avaliação dos riscos.

Identificar riscos

2ª Etapa: Elaboração da base de regras

Por meio da base de regras é possível simular o raciocínio dos especialistas, oferecendo suporte para a avaliação de riscos.

Validar base de regras

3ª Etapa: Avaliação de riscos

Por meio das avaliações em relação à severidade e ocorrência dos riscos, é possível medir o nível dos mesmos e definir quais deles devem possuir maior prioridade de mitigação.

Avaliar riscos

- Página de identificação de riscos:

IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS

O **Quadro 1** apresenta fatores de riscos que podem estar relacionados ao baixo desempenho dos fornecedores de um item.

Dimensão de performance	Critério
Performance Financeira	Capacidade financeira
	Preço
Performance Logística	Entrega
	Flexibilidade
	Localização Geográfica
	Capacidade reversa
	Custos logísticos
	Nível de serviço
Fatores culturais e organizacionais	Compatibilidade de culturas organizacionais
	Pressão competitiva
	Sistema de avaliação e certificação
	Gestão e organização
	Objetivo estratégico do fornecedor
	Educação e treinamento

Melhoria e gestão da qualidade	Compromisso com a melhoria e redução de custos Resolução de problemas Qualidade do produto Suporte no pós-vendas e paciência
Sustentabilidade	Efeitos ambientais e ações preventivas Reputação por integridade Segurança do trabalho
Capacidade tecnológica	Capacidade de <i>desing</i> e desenvolvimento Facilidade de comunicação Relação de longo prazo Arranjo recíproco Apoio da alta gestão Confiança Boa vontade para dividir informações

O **Quadro 2** apresenta fatores de riscos relacionados ao transporte deste item ou fatores de riscos macro (desastres naturais ou causados pela humanidade) do mesmo.

Tipos de Riscos	Fatores de Riscos
Riscos de Transporte	Danos durante o transporte Acidentes durante o transporte Ataque pirata marítimo Roubo na rodovia Quebra do transporte Greves portuárias Capacidade do porto ou congestionamento Altos custos de transporte
Riscos Macro	Desastres naturais Guerra ou terrorismo Acidentes com fogo Instabilidade política Recessões econômicas Problemas legais externos Instabilidade regional Regulações governamentais Conflitos sociais e culturais

Além dos fatores apresentados nesses quadros, existem também, **fatores de riscos relacionados ao mercado** que o fornecedor se encontra, como: (1) pequena base de fornecimento, (2) monopólio, (3) dependência de fornecedores, (4) força de mercado do fornecedor, (5) seleção de fornecedor errado, entre outros. Ressalta-se que os especialistas não precisam se prender aos fatores de riscos apontados nesse documento, uma vez que este visa apenas oferecer um direcionamento.

Formulário para identificação de riscos

***Obrigatório**

Escolha um item julgado como importante pela empresa para ser analisado. * *

Sua resposta

Preencha o espaço abaixo com fatores de riscos identificados pelos especialistas em relação ao item escolhido: *

Exemplo: 1) Acidentes com fogo com fornecedor 2) Danos durante o transporte 3) Altos custos logísticos dos fornecedores 4) Força de mercado do fornecedor...

Sua resposta

Enviar

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Google Formulários Este formulário foi criado em Universidade de São Paulo

- Página de validação da Base de Regras:

BASE DE REGRAS

A **Base de Regras** deve ser completada considerando todas as combinações dos diferentes **níveis** ("Muito Baixo", "Baixo", "Médio", "Alto" e "Muito Alto") que a **severidade** (grau impacto das consequências) e a **ocorrência** (frequência que o fator de risco ocorre) dos fatores de risco podem assumir. Essas combinações vão resultar no **nível do risco** ("Alto", "Médio" e "Baixo").

Complete a tabela abaixo, alterando apenas a coluna relativa ao **nível do risco**.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			Se					Instruções	
2	Rule	Severidade	E	Ocorrência	Então	Risk Level		Severidade: Corresponde ao grau de impacto das consequências que o fator de risco possui caso ocorra.	
3	1	Muito Baixo	E	Muito Baixo	ENTÃO	Muito Baixo		Ocorrência: Frequência estimada em que o fator de risco ocorre.	
4	2	Muito Baixo	E	Baixo	ENTÃO	Muito Baixo		Obs: Por favor, alterar apenas a coluna "F".	
5	3	Muito Baixo	E	Médio	ENTÃO	Baixo			
6	4	Muito Baixo	E	Alto	ENTÃO	Baixo			
7	5	Muito Baixo	E	Muito Alto	ENTÃO	Médio			
8	6	Baixo	E	Muito Baixo	ENTÃO	Baixo			
9	7	Baixo	E	Baixo	ENTÃO	Baixo			
10	8	Baixo	E	Médio	ENTÃO	Baixo			
11	9	Baixo	E	Alto	ENTÃO	Médio			
12	10	Baixo	E	Muito Alto	ENTÃO	Médio			
13	11	Médio	E	Muito Baixo	ENTÃO	Baixo			
14	12	Médio	E	Baixo	ENTÃO	Médio			
15	13	Médio	E	Médio	ENTÃO	Médio			
16	14	Médio	E	Alto	ENTÃO	Médio			
17	15	Médio	E	Muito Alto	ENTÃO	Alto			
18	16	Alto	E	Muito Baixo	ENTÃO	Médio			
19	17	Alto	E	Baixo	ENTÃO	Médio			
20	18	Alto	E	Médio	ENTÃO	Alto			
21	19	Alto	E	Alto	ENTÃO	Alto			
22	20	Alto	E	Muito Alto	ENTÃO	Alto			
23	21	Muito Alto	E	Muito Baixo	ENTÃO	Alto			
24	22	Muito Alto	E	Baixo	ENTÃO	Alto			
25	23	Muito Alto	E	Médio	ENTÃO	Alto			
26	24	Muito Alto	E	Alto	ENTÃO	Muito Alto			
27	25	Muito Alto	E	Muito Alto	ENTÃO	Muito Alto			

- Página de avaliação de riscos:

Questionário

Os fatores de risco serão avaliados de acordo com os critérios de:

- Severidade: Corresponde ao grau de impacto das consequências que os fatores de riscos possuem caso ocorram;
- Ocorrência: Frequência estimada em que o fator de risco ocorre.

Tanto a severidade quanto a ocorrência podem ser avaliados utilizando os termos: Muita Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta. Ressalta-se que é possível selecionar mais de uma opção, permitindo avaliações como "Entre Muito Baixa e Média" ou "Entre Alta e Muito Alta".

***Obrigatório**

Por favor, digite seu nome: *

Sua resposta

1- Risco de Disponibilidade (Material: Resina X) *

Risco de fornecedores não ter o material disponível

	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Severidade	☐	☐	☐	☐	☐
Ocorrência	☐	☐	☐	☐	☐

15- Risco de capacidade financeira de fornecedores (Material: SOLVENTE Z) *

Riscos de ser afetado negativamente devido a baixa capacidade financeira dos fornecedores

	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Severidade	☐	☐	☐	☐	☐
Ocorrência	☐	☐	☐	☐	☐

16- Risco de confiabilidade técnica (Material: SOLVENTE Z) *

Problemas com fornecedores não saberem manusear o material.

	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Severidade	☐	☐	☐	☐	☐
Ocorrência	☐	☐	☐	☐	☐

Enviar