

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA, SOCIEDADE E
DESENVOLVIMENTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

UM MODELO PARA SEGMENTAÇÃO DE FORNECEDORES RESILIENTES
BASEADO EM *HESITANT FUZZY LINGUISTIC TERM SETS* COMBINADOS COM
QFD E VIKOR

YVES NZAMBA

CURITIBA

2024

YVES NZAMBA

**UM MODELO PARA SEGMENTAÇÃO DE FORNECEDORES RESILIENTES
BASEADO EM *HESITANT FUZZY LINGUISTIC TERM SETS* COMBINADOS COM
QFD E VIKOR**

**A MODEL FOR SEGMENTATION OF RESILIENT SUPPLIERS BASED ON
HESITANT FUZZY LINGUISTIC TERM SETS COMBINED WITH QFD AND VIKOR**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Administração, no Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba. Linha de Pesquisa: Tecnologia, sociedade e desenvolvimento.
Orientador: Prof. Dr. Francisco Rodrigues Lima Junior.
Coorientador: Prof. Dr. Alamo Alexandre da Silva Batista.

CURITIBA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba



YVES NZAMBA

**UM MODELO PARA SEGMENTAÇÃO DE FORNECEDORES RESILIENTES BASEADO EM
HESITANT FUZZY LINGUISTIC TERM SETS COMBINADOS COM QFD E VIKOR**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado
como requisito para obtenção do título de Mestra
Em Administração da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR). Área de
concentração: Organizações E Tecnologia.

Data de aprovação: 23 de Agosto de 2024

Dr. Francisco Rodrigues Lima Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Alamo Alexandre Da Silva Batista, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Leonardo Tonon, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Nadya Regina Galo, Doutorado - Universidade Federal de Goiás (Ufg)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 23/08/2024.

CURITIBA

2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa,
à família da minha esposa,
aos meus filhos e à minha família do Gabão,
pelos encorajamentos, a torcida e a paciência
ao longo do mestrado.

AGRADECIMENTOS

Aproveito o presente espaço para agradecer a Deus pela oportunidade que me foi dada de realizar o sonho de iniciar e finalizar o curso de mestrado.

Aos meus orientadores Prof Dr. Francisco Rodrigues Lima Junior e Prof Dr. Alamo Alexandre da Silva Batista pelos ensinamentos, encorajamentos e paciência.

À toda a banca examinadora pelas suas ricas contribuições no desenvolvimento do presente trabalho.

À minha amiga Mery pela sua preciosa contribuição no uso da técnica HFLTS-VIKOR dentro do nosso grupo de pesquisa “Tomada de decisão”.

Aos meus professores do PPGA pelos conhecimentos compartilhados em diversas áreas e pela paciência de sempre.

Aos meus colegas de turma de mestrado pelos maravilhosos momentos que passamos juntos dentro e fora da sala de aulas.

À empresa participante da pesquisa pela enorme contribuição na aplicação do modelo proposto.

Ao Programa de Estudantes-Convênio de Graduação (PEC-G) que me proporcionou a experiência de poder estudar no Brasil em 2001.

Por fim, agradeço ao programa de bolsas do PPGA e CAPES; “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

EPÍGRAFE

“Seja resiliente, acredite na sua força,
no seu potencial, creia que é capaz e
você será”.

(Roger Stankewski)

RESUMO

NZAMBA, Yves. **Um modelo para segmentação de fornecedores resilientes baseado em *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets* combinados com QFD e VIKOR**. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2024.

A gestão estratégica da cadeia de suprimentos garante a continuidade das atividades nas organizações. A pandemia da Covid-19 levou os gestores de cadeias de suprimentos a buscar alternativas diante dos desafios enfrentados, construindo cadeias resilientes para lidar com os riscos e interrupções de fornecimento. Nesse contexto, a segmentação de fornecedores se mostra bastante útil, conforme define o tipo de relação apropriada entre a empresa compradora e alguns grupos específicos de fornecedores. Contudo, por meio da realização de uma revisão sistemática da literatura, foram identificados apenas dois modelos prévios de segmentação de fornecedores que levam em consideração critérios relativos à resiliência da cadeia de suprimentos, os quais apresentam limitações relacionados ao suporte à tomada de decisão sob incerteza e hesitação. Para suprir algumas oportunidades de pesquisa identificadas na literatura, o presente trabalho objetiva propor um modelo de segmentação de fornecedores resilientes, baseado no método *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets* combinado com os métodos QFD (HFLTS-QFD) e VIKOR (HFLTS-VIKOR). O HFLTS-QFD foi usado na definição e ponderação dos critérios de avaliação dos fornecedores, enquanto o HFLTS-VIKOR com distribuições de possibilidades foi usado para agrupar os fornecedores dentro da matriz de segmentação. Uma ferramenta computacional baseada nos referidos métodos foi implementada em *Microsoft Excel* para apoiar a tomada de decisão na segmentação de fornecedores. A aplicação do modelo proposto a partir de um instrumento de coleta de dados validado pela empresa piloto do ramo automotivo e a realização de testes de análise de sensibilidade apontaram que os resultados produzidos são consistentes. Foram encontrados três grupos de fornecedores avaliados a partir da matriz de segmentação usada. Com isso, para auxiliar a empresa participante da pesquisa, foi possível indicar ações específicas para melhorar o desempenho global de cada grupo de fornecedores. Ao contrário dos estudos prévios, o modelo é adequado para decisões em grupo sob incerteza e hesitação, permitindo o uso de expressões linguísticas nos julgamentos. Também permite a atribuição de pesos aos especialistas e não possui limite de critérios nem de alternativas de avaliação. Portanto, o modelo proposto se mostra uma opção viável para segmentar fornecedores, levando em conta fatores intensificadores e fatores redutores de resiliência. A participação de uma empresa piloto real e a proposição de uma ferramenta de tomada de decisão para auxiliar o desenvolvimento organizacional fortalecem a aderência do desenvolvimento do presente trabalho dentro do programa de mestrado em Administração.

Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos. Segmentação de fornecedores. Resiliência. HFLTS-QFD. HFLTS-VIKOR.

ABSTRACT

NZAMBA, Yves. **A model for segmentation of resilient suppliers based on Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets combined with QFD and VIKOR.** Dissertation (Master's in Administration) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2024.

Strategic supply chain management ensures the continuity of activities in organizations. The Covid-19 pandemic led supply chain managers to seek alternatives to the challenges faced, building resilient chains to deal with risks and supply interruptions. In this context, supplier segmentation proves to be very useful, as it defines the type of appropriate relationship between the purchasing company and some specific groups of suppliers. However, through a systematic review of the literature, only two previous supplier segmentation models were identified that take into account criteria related to supply chain resilience, which present limitations related to supporting decision-making under uncertainty and hesitation. To meet some research opportunities identified in the literature, this work aims to propose a resilient supplier segmentation model, based on the Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets method combined with the QFD (HFLTS-QFD) and VIKOR (HFLTS-VIKOR) methods. . HFLTS-QFD was used to define and weight supplier evaluation criteria, while HFLTS-VIKOR with possibility distributions was used to group suppliers within the segmentation matrix. A computational tool based on the aforementioned methods was implemented in Microsoft Excel to support decision making in supplier segmentation. The application of the proposed model based on a data collection instrument validated by the pilot company in the automotive sector and the performance of sensitivity analysis tests showed that the results produced are consistent. Three groups of suppliers were found, evaluated based on the segmentation matrix used. Therefore, to assist the company participating in the research, it was possible to indicate specific actions to improve the overall performance of each group of suppliers. Unlike previous studies, the model is suitable for group decisions under uncertainty and hesitation, allowing the use of linguistic expressions in judgments. It also allows the attribution of weights to experts and has no limit on criteria or evaluation alternatives. Therefore, the proposed model appears to be a viable option for segmenting suppliers, taking into account factors that intensify and reduce resilience. The participation of a real pilot company and the proposition of a decision-maker tool to assist in organizational development strengthen the adherence of the development of this work within the Master's program in Administration.

Keywords: Supply chain. Supplier segmentation. Resilience. HFLTS-QFD, HFLTS-VIKOR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação dos tipos de cadeias de suprimentos encontrados.....	28
Figura 2 - Segmentação de fornecedores com base nos fatores intensificadores e redutores de resiliência.....	29
Figura 3 - Continentes responsáveis pelos artigos publicados.....	34
Figura 4 - Estrutura da dissertação.....	41
Figura 5 - Quadrantes da matriz de Kraljic.....	46
Figura 6 – Conjunto fuzzy de sete termos e expressões linguísticas.....	48
Figura 7 - Estrutura da casa da Qualidade.....	52
Figura 8 - Etapas da técnica VIKOR.....	58
Figura 9 - Etapas da técnica DPHFVIKOR.....	62
Figura 10 - Modelo proposto para segmentação de fornecedores.....	69
Figura 11 – Matriz de segmentação de fornecedores avaliados.....	102
Figura 12 – Matriz de segmentação de fornecedores avaliados para $\theta=0,10$	108
Figura 13 – Matriz de segmentação de fornecedores avaliados para $\theta=0,90$	108
Figura 14 – Ordenação de Q baseada em SIP e SIN relativas.....	112
Figura 15 – Ordenação de Q baseada em SIP e SIN absolutas.....	112
Figura 16 – Ordenação de Q em SIP e SIN relativas na base dos redutores.....	114
Figura 17 – Ordenação de Q em SIP e SIN absolutas na base dos redutores.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos passos da seleção dos artigos.....	21
Tabela 2 - Distribuição dos artigos entre 2004 e 2023.....	25
Tabela 3 - Dimensões de Segmentação encontradas.....	26
Tabela 4 - Tipos de cadeias de suprimentos encontrados.....	27
Tabela 5 - Técnicas encontradas nos modelos.....	30
Tabela 6 - Países dos autores dos artigos publicados.....	32
Tabela 7 - Os continentes de origem das publicações analisadas.....	33
Tabela 8- Intensidade de relacionamento entre requisitos e critérios da dimensão intensificadores de resiliência.....	72
Tabela 9 - Intensidade de relacionamento entre requisitos e critérios da dimensão redutores de resiliência.....	73
Tabela 10 - Atribuição de julgamentos linguísticos para os fornecedores na dimensão "intensificadores de resiliência".....	74
Tabela 11 - Atribuição de julgamentos linguísticos para os fornecedores na dimensão "redutores de resiliência".....	74
Tabela 12 - Termos linguísticos ativados na avaliação dos requisitos.....	79
Tabela 13 - Resultado do cálculo dos pesos dos requisitos.....	79
Tabela 14 - Integração de julgamentos dos intensificadores de resiliência.....	80
Tabela 15 - Resultado do cálculo dos pesos dos intensificadores.....	82
Tabela 16 - Integração de julgamentos dos redutores de resiliência.....	83
Tabela 17 - Resultado do cálculo dos pesos dos redutores.....	83
Tabela 18 - Resultado do cálculo dos pesos dos critérios intensificadores.....	84
Tabela 19 - Agregação de julgamentos dos critérios redutores de resiliência.....	85
Tabela 20 - Resultado do cálculo dos pesos dos redutores.....	86
Tabela 21 - Transformação dos Julgamentos na dimensão dos intensificadores.....	89
Tabela 22 - PDHFLTS referentes às matrizes DM1 e DM2.....	90
Tabela 23 – Matriz de decisão agregada e normalizada – HFLWA.....	90
Tabela 24– Média dos elementos da matriz HFLWA.....	91
Tabela 25 – Variância dos elementos da matriz HFLWA.....	91

Tabela 26 – Distâncias de HFLWA e de SIN relativa em relação à SIP relativa.....	91
Tabela 27 – Distâncias de HFLWA e de SIN absoluta em relação à SIP absoluta...	93
Tabela 28 – Cálculos da d_i e dos valores de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN relativas.....	93
Tabela 29 – Cálculos da d_i e valores de S_i , R_i e Q_i baseado em SIP e SIN absolutas.....	93
Tabela 30 – Ordenação de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN relativas.....	94
Tabela 31 – Ordenação de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN absolutas.....	94
Tabela 32 - Transformação dos julgamentos dos decisores na dimensão dos redutores.....	96
Tabela 33 - PDHFLTS referentes às matrizes DM1 e DM2.....	96
Tabela 34 – Matriz de decisão agregada e normalizada – HFLWA.....	97
Tabela 35 – Média dos elementos da matriz HFLWA.....	97
Tabela 36 – Variância dos elementos da matriz HFLWA.....	97
Tabela 37 – Distâncias de HFLWA e de SIN relativa em relação à SIP relativa.....	98
Tabela 38 – Distâncias de HFLWA e de SIN absoluta em relação à SIP absoluta.....	98
Tabela 39 – Cálculos dos valores de S_i , R_i e Q_i baseados em SIP e SIN relativas.....	99
Tabela 40 – Cálculos dos valores de S_i , R_i e Q_i baseados em SIP e SIN absolutas.....	99
Tabela 41 – Ordenação de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN relativas.....	100
Tabela 42 – Ordenação de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN absolutas.....	100
Tabela 43 – Valores de Q_i usados na segmentação de fornecedores.....	101
Tabela 44 - Resultado do cálculo dos pesos dos critérios intensificadores para $\theta=0,10$	105
Tabela 45 - Resultado do cálculo dos pesos dos redutores para $\theta=0,10$	105
Tabela 46 - Resultado do cálculo dos pesos dos critérios intensificadores para $\theta=0,90$	106
Tabela 47 - Resultado do cálculo dos pesos dos redutores para $\theta=0,90$	106
Tabela 48 – Valores de Q_i usados na segmentação de fornecedores para $\theta=0,10$	106

Tabela 49 – Valores de Q_i usados na segmentação de fornecedores para $\theta=0,90$	107
Tabela 50 – Síntese da variação dos pesos dos critérios.....	109
Tabela 51 – Impacto na segmentação de fornecedores.....	110
Tabela 52 – Análise de sensibilidade baseada em SIP e SIN relativas.....	111
Tabela 53 – Análise de sensibilidade baseada em SIP e SIN absolutas.....	111
Tabela 54 – Análise de sensibilidade em SIP e SIN relativas na base dos redutores.....	113
Tabela 55 – Análise de sensibilidade do método PDHFLVIKOR– SIP e SIN absolutas.....	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Artigos analisados.....	22
Quadro 2 - Expressões linguísticas a serem usadas na avaliação dos requisitos, critérios e fornecedores.....	49
Quadro 3 - Lista dos requisitos de resiliência dos fornecedores.....	70
Quadro 4 - Lista dos fatores intensificadores de resiliência dos fornecedores.....	71
Quadro 5 - Lista dos fatores redutores de resiliência dos fornecedores.....	71
Quadro 6 – Julgamentos linguísticos e representação HFLTS para avaliar as alternativas.....	75
Quadro 7 - Julgamentos da importância dos requisitos.....	81
Quadro 8 - Julgamentos da intensidade de relacionamento na dimensão dos intensificadores.....	82
Quadro 9 - Julgamentos dos decisores na dimensão dos intensificadores.....	87
Quadro 10 - Julgamentos decisores na dimensão dos redutores.....	87
Quadro 11 – Detalhamento da Matriz de segmentação de fornecedores.....	102

LISTA DE SIGLAS

ABMS	<i>Agent Based Modeling and Simulation</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
BWM	<i>Best Worst Method</i>
DEA	<i>Data envelopment analysis</i>
DEMATEL	<i>Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory</i>
ELECTRE	<i>ELimination Et Choice Translating REality</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> (Planejamento de Recursos Empresariais)
USA	<i>United States of America</i> (Estados Unidos da América)
FITradeoff	<i>Flexible and Interactive Tradeoff</i>
GPS	<i>Geographic Positioning Systems</i>
HFL	<i>Hesitant Fuzzy Linguistic</i>
HFLTS	<i>Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets</i>
HFLWA	<i>Hesitant Fuzzy Linguistic Weighted Average</i>
IA	Inteligência Artificial
JIT	<i>Just In Time</i>
MAGDM	<i>Multiple Attribute Group Decision Making</i>
MAUT	<i>Multi-attribute utility theory</i>
MCDM	<i>Multicriteria Decision-Making</i>
MCGDM	<i>Dynamic generalized fuzzy multi-criteria group decision making</i>
PDHFLVIKOR	<i>Possibility Distribution of Hesitant Fuzzy Linguistic VIKOR</i>
PHFLTS	<i>Proportional Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identifcation</i> (Identificação por Radiofrequência)
RST	<i>Rough set theory</i>
SCM	<i>Supply Chain Management</i> (Gestão da cadeia de suprimentos)
SIN	Solução Ideal Negativa
SIP	Solução Ideal Positiva
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
VFT	<i>Value-Focused Thinking</i>
VIKOR	<i>VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 DEFINIÇÃO DAS LACUNAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	35
1.3 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	38
1.4 JUSTIFICATIVAS.....	39
1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	40
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	43
2.1 GESTÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS RESILIENTES.....	43
2.2 SEGMENTAÇÃO DE FORNECEDORES.....	46
2.3 FUNDAMENTOS DOS <i>HESITANT FUZZY LINGUISTIC TERM SETS</i>	47
2.4 O MÉTODO HFLTS-QFD.....	50
2.5 O MÉTODO HFLTS-VIKOR.....	57
3 MÉTODO.....	66
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	66
3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	66
4 PROPOSTA DO MODELO PARA SEGMENTAÇÃO.....	68
5 TESTE PILOTO.....	77
5.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA PARTICIPANTE.....	77
5.2 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....	77
5.2.1 Determinação E Avaliação Dos Requisitos.....	78
5.2.2 Determinação E Avaliação Dos Critérios.....	81
5.2.3 Avaliação E Segmentação Dos Fornecedores.....	86
6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO PROPOSTO.....	104
6.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MÉTODO HFLTS-QFD.....	104
6.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MÉTODO PDHFLVIKOR.....	110
7 CONCLUSÃO.....	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
APÊNDICE A – ROTEIRO PARA COLETA DE DADOS.....	128

1 INTRODUÇÃO

Segundo Zsidisin e Ritchie (2009, p.2), a definição da cadeia de fornecimento pode ser dada como “a ligação de estágios dentro de um processo, iniciando pela matéria-prima, passando por vários estágios de fabricação, processamento, armazenamento e transporte até a entrega e consumo por parte do consumidor final”. Embora existam várias estratégias de gestão de cadeias de suprimentos tais como *green*, sustentável, ágil, enxuta e de reabastecimento contínuo, as cadeias resilientes são capazes de lidar com distúrbios e têm recebido bastante atenção perante as incertezas que afetam o atual ambiente de negócios, principalmente após a pandemia de COVID-19 (Alvarenga *et al.*, 2022).

Embora a pandemia da COVID-19 apresentou-se como sendo um grande desafio para os gestores das cadeias de fornecimento (Hoek, 2020), o presente trabalho aborda o tema em questão sem pretensão de se aprofundar, de maneira contextual para evidenciar a importância de preparar as cadeias de suprimentos contra as adversidades que podem surgir. Hounis *et al.* (2023) acrescentaram que a COVID-19 dividiu a literatura em quatro grupos: aqueles que reconhecem a COVID-19 como uma ameaça apenas; pesquisadores que acreditam que a COVID-19 foi ao mesmo tempo uma ameaça e uma oportunidade; aqueles que acreditam que a mesma criou enormes oportunidades; e, por último, acadêmicos que propuseram um modelo de apoio à mitigação do impacto da pandemia nas cadeias de suprimentos.

A ocorrência de riscos decorrentes de eventos como desastres naturais, conflitos geopolíticos humanos, escassez de recursos naturais e pandemias pode implicar na interrupção das condições normais de operação das cadeias de fornecimento, podendo produzir atrasos na produção e na entrega ao cliente, o aumento de preços dos produtos, a interrupção de fornecimento, dentre outros efeitos (Rajesh; Ravi, 2015; Parkouhi *et al.*, 2019). Nesse cenário, a contratação e o estabelecimento de relacionamentos com fornecedores com capacidades resilientes auxilia as empresas a prevenirem e/ou superarem problemas causados por fatores de risco externos (Brown, 2017; Parkouhi *et al.*, 2019).

Rajesh e Ravi (2015, p. 345) definiram fornecedores resilientes como “fornecedores capazes de fornecer produtos de boa qualidade a preços econômicos e flexíveis o suficiente para acomodar flutuações de demanda com prazos de

entrega mais curtos em um ambiente de menor risco, respeitando a segurança e o meio ambiente”. Para Woods (2015, p.1), a resiliência pode ser abordada como sendo “a capacidade de um sistema de se recuperar após distúrbios, ser robusto e sustentar a capacidade de se adaptar a surpresas futuras”. A construção de cadeia de fornecimento resiliente é uma estratégia ligada ao aumento da robustez e à garantia da continuidade das condições normais de operações da cadeia de fornecimento (Rajesh; Ravi, 2015).

A gestão de fornecedores resilientes envolve a integração de múltiplos critérios, a coordenação dos fornecedores e a adaptabilidade aos desafios que surgem constantemente (Li *et al.*, 2023). Dentre as práticas encontradas na literatura sobre gestão de cadeias de fornecimento resilientes, destaca-se a prática de segmentação de fornecedores, que estabelece um processo de divisão dos fornecedores em grupos específicos, agrupados com base em suas similaridades (Day *et al.*, 2010). Essa prática auxilia o desenvolvimento de processos decisórios baseados em fatores que influenciam a resiliência da cadeia de fornecimento (Parkouhi *et al.*, 2019).

Day *et al.* (2010, p. 626) definiram a segmentação de fornecedores como sendo “um processo que divide os fornecedores em grupos distintos de acordo com as suas necessidades, características ou comportamentos, exigindo diferentes estratégias de relacionamento entre empresas, com o propósito de obter valor de troca”. A segmentação de fornecedores auxilia na definição de relações estratégicas com grupos de fornecedores e na elaboração de programas de desenvolvimento de fornecedores (Lambert; Schwieterman, 2012). O processo de agrupamento de fornecedores é baseado nos diversos critérios de avaliação de fornecedores que compõem as dimensões de segmentação.

Como esse processo envolve a avaliação, classificação e categorização de várias alternativas de fornecimento com base nos múltiplos critérios escolhidos, a segmentação de fornecedores é tratada na literatura como sendo um problema de tomada de decisão multicritério (Akman, 2015).

Borges e Lima Jr. (2020) apresentaram uma revisão sistemática da literatura referente aos métodos quantitativos usados para segmentação de fornecedores. Esses autores analisaram 26 artigos científicos, sendo que a maioria deles (53,83% dos estudos) foram publicados a partir de 2017. Eles identificaram apenas um

estudo voltado a cadeia de fornecimento resiliente, proposto por Parkouhi *et al.* (2019). Além disso, os autores em questão constataram a utilização de 40 técnicas de decisão distintas e concluíram que a mais utilizada foi AHP (*Analytic Hierarchy Process*), enquanto a “disposição para colaborar” e as “capacidades dos fornecedores” foram as dimensões de segmentação mais exploradas.

Bongale *et al.* (2021) apresentaram uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de fornecer uma visão sobre os métodos de tomada de decisão utilizados em modelos para segmentação de fornecedores. Eles analisaram 35 artigos científicos publicados até 2021, disponíveis no Corpus e no Google acadêmico. O referido estudo inclui artigos de periódicos, trabalhos publicados em anais de eventos, dentre outros tipos de material bibliográfico. Com isso, esses autores encontraram e abordaram dois estudos sobre segmentação de fornecedores resilientes (Brown, 2017; Parkouhi *et al.*, 2019).

Além disso, os métodos isolados apresentam limitações que muitas vezes são superadas pelas combinações de pelo menos duas técnicas. O mesmo se aplica ao QFD (*Quality Function Deployment*) e ao VIKOR (*Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) que são aperfeiçoados quando combinados com os conjuntos fuzzy e suas extensões. Com isso, os métodos resultantes dessas combinações tais como *Hesitant Fuzzy-QFD* e *Hesitant Fuzzy-VIKOR*, acabam sendo mais vantajosas que algumas outras técnicas tradicionais. Por tanto, a decisão em grupo, lidar com hesitação e/ ou incertezas são algumas vantagens alcançadas com a combinação de alguns métodos.

De modo sucinto, o método QFD é uma ferramenta da qualidade que visa a satisfação dos desejos do cliente e o método VIKOR uma técnica que visa encontrar uma solução compromisso mais próxima da solução ideal. Esses conceitos serão melhor abordados no Capítulo 2 do presente trabalho.

A seguir, diante da importância da segmentação de fornecedores e da avaliação da resiliência destes parceiros, será abordada de modo especial uma revisão sistemática da literatura referente aos modelos quantitativos usados na segmentação de fornecedores. Essa exploração irá auxiliar a encontrar possíveis lacunas bibliográficas, sustentando a definição do problema de pesquisa e a fixação dos objetivos do presente estudo.

1.1 DEFINIÇÃO DAS LACUNAS BIBLIOGRÁFICAS

Existem vários tipos de modelos para auxiliar no processo decisor durante a segmentação de fornecedores, tais como aqueles com base em métodos MCDM (*multicriteria decision-making*) e de inteligência artificial (Borges *et al.*, 2022). Visando a identificação de oportunidades de pesquisa e o apoio na fixação dos objetivos do presente trabalho, a atual seção traz de maneira especial uma revisão sistemática da literatura referente aos modelos quantitativos de auxílio à segmentação de fornecedores. Além disso, maiores informações sobre a segmentação de fornecedores serão abordadas no Capítulo 2.

Uma tomada de decisão multicritério envolve uma situação em que há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher, visando atender a vários objetivos conflitantes entre si (Almeida, 2013). Este autor acrescenta que a esses objetivos são associados critérios, atributos ou dimensões que os representam de modo a permitir a avaliação de cada alternativa, baseado em cada objetivo.

Além disso, os métodos MCDM organiza o problema estudado, destacando na sequência o objetivo da decisão, os critérios de decisão e as alternativas a ser avaliadas (Alvarenga *et al.*, 2023). Segundo HUNG *et al.* (2007), o MCDM tem o potencial de avaliar vários critérios e facilitar a escolha da melhor alternativa entre as alternativas analisadas. Alvarenga *et al.* (2023) acrescentaram que os métodos MCDM têm como resultados priorizar a relevância dos critérios e as preferências das alternativas.

De acordo com Bertrand e Fransoo (2002, p. 242), os modelos quantitativos podem ser definidos como sendo “modelos baseados em um conjunto de variáveis que variam em um domínio específico, enquanto relações quantitativas e causais foram definidas entre essas variáveis”. Esses autores acrescentaram ainda que os estudos quantitativos envolvem modelos onde relações causais entre as variáveis de controle e as variáveis de desempenho são concebidas, examinadas ou testadas (Bertrand; Fransoo, 2002).

Nesse sentido, os modelos quantitativos usados na segmentação, com o apoio de técnicas de tomada de decisão, realizam a avaliação do desempenho e o agrupamento dos fornecedores de acordo com as variáveis de entrada das

dimensões de segmentação definidas. Quando há integração de pelo menos duas técnicas na resolução de um problema de segmentação de fornecedores, trata-se de um método híbrido, resultando em técnicas combinadas tais como *Fuzzy-TOPSIS*, *Hesitant Fuzzy Linguistic-TOPSIS* e *Delphi-AHP*.

Borges e Lima Jr. (2020) realizaram uma revisão sistemática da literatura baseada em 26 estudos que apresentaram modelos quantitativos de apoio à tomada de decisão na segmentação de fornecedores. A fim de atualizar a revisão sistemática da literatura em questão, no presente trabalho foi realizada uma nova pesquisa, seguindo os passos descritos por Borges e Lima Jr. (2020). A pesquisa bibliográfica abrangeu a coleta de artigos científicos nos principais bancos de dados referentes aos modelos quantitativos de segmentação de fornecedores, utilizando um corte de 2020 até 2023. Esse mapeamento subsidiou a aproximação com o tema de pesquisa e o desenvolvimento do modelo proposto para a segmentação de fornecedores resilientes. A seleção dos principais artigos científicos que compõem o presente mapeamento resultou em 29 artigos selecionados e foi feito nas bases de dados Science Direct (www.sciencedirect.com), Scopus (www.scopus.com), Emerald Insight (www.emeraldinsight.com), Taylor & Francis (www.tandfonline.com), Springer (www.springer.com), IEEE Xplore® (www.ieeexplore.ieee.org), Wiley (www.onlinelibrary.wiley.com) e a ferramenta Google Académico (www.scholar.google.com).

A seleção de cada artigo foi realizada por meio dos passos baseados em Borges *et al.* (2022), Galvão e Ricarte (2019). Seguem os detalhes dos cinco passos executados:

- a) Buscas dos principais termos (segmentação de fornecedores, *supplier segmentation*) no campo de pesquisa dos bancos de dados e no Google Académico durante o período de 2020 a 2023;
- b) Filtrar os artigos científicos dos bancos de dados e do Google Académico escritos em língua inglesa ou em língua portuguesa quando possível;
- c) Seleção dos artigos científicos com base na análise dos títulos, palavras-chave e resumos. No Google Académico, no Scopus, no Science Direct, no Taylor & Francis e no Wiley, a análise foi realizada para os mil primeiros resultados filtrados por relevância. Esses cortes foram necessários por causa da grande quantidade de resultados obtidos;

- d) Eliminação dos excessos de publicação referentes aos artigos publicados em mais de um banco de dados com o mesmo título;
- e) Exclusão daqueles indisponíveis para acessar o texto integral caso o resumo não seja muito rico em detalhes requisitados (técnicas usadas e dimensões de segmentação), dos que não abordam o tema pesquisado, das dissertações de mestrado e das teses de doutorado, através da leitura do corpo dos artigos.

A Tabela 1 resume os cinco passos adotados. No final, juntando os 29 artigos selecionados no presente trabalho com os 26 artigos encontrados na revisão sistemática da literatura realizada por Borges e Lima Jr. (2020), considerou-se 55 estudos no total para fim de atualização da revisão sistemática da literatura referente aos modelos quantitativos de auxílio a tomada de decisão na segmentação de fornecedores.

Tabela 1 - Resumo dos passos da seleção dos artigos

Busca principal: Supplier segmentation					
Período: 2020 - 2023					
Bases	Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5
Science Direct	2126	2126	22	22	6
Scopus	2814	2775	27	18	5
Google Acadêmico	48800	48800	63	48	13
Emerald Insight	63	61	17	5	1
Taylor & Francis	113713	113712	11	10	2
Springer	1187	1187	6	2	0
IEEE Xplore®	19	19	2	2	0
Wiley	224698	224698	2	2	2
Somatório	393420	393378	150	109	29

Fonte: Autoria própria (2024).

As novas buscas resultaram na seleção de 29 artigos, publicados entre 2020 e 2023. O Quadro 1 apresenta os estudos analisados. No quadro em questão, a cadeia de suprimentos “Genérica” refere-se à cadeia de fornecimento que não apresenta uma estratégia bem definida.

Quadro 1 – Listagem de artigos analisados na revisão sistemática

Autor(es)	Tipo de Cadeia	Técnica	Dimensões de Segmentação
Svensson (2004)	Genérica	Técnicas estatísticas (univariada e bivariada)	"Compromisso do fornecedor com o fabricante de veículos e a importância da matéria-prima para o fabricante de veículos".
Kuman <i>et al.</i> (2006)	Genérica	<i>k-means</i>	"Investimentos específicos do Fornecedor e investimentos específicos dos Compradores".
Chang <i>et al.</i> (2010)	Genérica	AHP	"Importância estratégica e atratividade da parceria".
Che (2011)	Genérica	<i>k-means/Simulated annealing algorithm/Taguchi method/AHP</i>	"Tipo de produto, demanda do cliente, custo de produção, qualidade do produto e tempo de produção".
Rezaei e Ortt (2013a)	Genérica	<i>Fuzzy relations-based AHP</i>	"Capacidades e disposição para colaborar".
Rezaei e Ortt (2013b)	Genérica	<i>Fuzzy rule-based</i>	"Capacidades e disposição para colaborar".
Osiro <i>et al.</i> (2014)	Genérica	<i>Fuzzy inference/ Fuzzy grid method</i>	"Potencial da parceria e desempenho de entrega".
Haghighi <i>et al.</i> (2014)	Genérica	<i>Fuzzy AHP/Fuzzy c-means</i>	"Capacidades e disposição para colaborar".
Akman (2015)	<i>Green</i>	<i>Fuzzy c-means/ VIKOR</i>	"Green/desempenho ambiental".
Rezaei (2015)	Genérica	<i>Best Worst Method (BWM)</i>	"Capacidades e disposição para colaborar".
Carpinetti e Lima Jr. (2016)	Genérica	<i>Fuzzy-TOPSIS</i>	"Custo e desempenho de entrega".
Lo e Sudjarmika (2016)	Genérica	<i>Fuzzy AHP (FAHP)</i>	"Capacidades e disposição para colaborar".
Osiro <i>et al.</i> (2017)	<i>Green</i>	<i>AHP/Fuzzy 2-tuple</i>	"Capacidades e disposição para colaborar".
Segura e Maroto (2017)	Genérica	AHP/PROMETHEE/M AUT	"Desempenho crítico e Desempenho estratégico".
Boujelben (2017)	Genérica	PROMETHEE	"Capacidades e disposição para colaborar".
Kadziński <i>et al.</i> (2017)	<i>Green</i>	ELECTRE TRI-rC	"Capacidades e disposição para colaborar".
Bai <i>et al.</i> (2017)	<i>Green</i>	RST/VIKOR/ <i>Fuzzy C-means</i>	"Capacidades e disposição para colaborar".
Araz <i>et al.</i> (2018)	<i>Green</i>	VIKORSORT	"Desempenho ambiental".
Medeiros e Ferreira (2018)	Genérica	<i>Fuzzy-TOPSIS</i>	"Risco no fornecimento e impacto no lucro".

Ruiz e Ravindran (2018)	Sustentável	AHP	"Custo dos produtos, risco no fornecimento e impacto na sustentabilidade".
Aloini <i>et al.</i> (2019)	Genérica	<i>Fuzzy rule-based</i>	"Atratividade de fornecedores e força da parceria".
Jharkharia e Das (2019)	<i>Green</i>	<i>Fuzzy c-means/Fuzzy formal concept analysis</i>	"Decisões de investimento e decisões de colaboração".
Parkouhi <i>et al.</i> (2019)	Resiliente	DEMATEL	"Intensificadores de resiliência e redutores de resiliência".
Rezaei e Lajimi (2019)	Genérica	<i>Best Worst Method</i> (BWM)	"Risco no fornecimento, impacto no lucro, capacidades e disposição para colaborar".
Restrepo e Villegas (2019)	Genérica	DEA	"Eficiência na diversidade e eficiência cruzada".
Bianchini <i>et al.</i> (2019)	Genérica	AHP	"Risco no fornecimento e impacto no lucro".
Hong <i>et al.</i> (2020)	Genérica	<i>Latent class logit model</i> (LCM)	"Preferências de trabalho dos motoristas".
Kaur e Singh (2020)	Indústria 4.0	DEA/Fuzzy AHP/FAHP-TOPSIS	"Riscos e interrupções".
Sorolla <i>et al.</i> (2020)	Sustentável	Métricas de risco de fornecimento e análise dos impactos orçamentários.	"Risco no fornecimento e impacto no lucro".
Duc <i>et al.</i> (2021)	<i>Green</i>	<i>Dynamic generalized fuzzy multi-criteria group decision making</i> (MCGDM)	"Capacidades e disposição para colaborar".
Rajesh e Raju (2021)	Ágil	<i>Fuzzy inference systems</i> (FISs)	"Capacidade de agilidade e excelência empresarial".
Haseli <i>et al.</i> (2021)	Genérica	G-BWM (<i>Group decision-making BWM</i>)	"Capacidades e disposição para colaborar".
Uddin <i>et al.</i> (2021)	Genérica	<i>Maximum Value Attribute</i> (MVA)	"Características que reduzem o número de variáveis impactando as operações".
Uttarwar (2021)	Genérica	<i>R programming</i>	"Tempo desde a colocação do pedido até a entrega completa do pedido (<i>Lead time</i>)".
Kusumastuti (2021)	Genérica	<i>Fuzzy multi-attributes</i>	"Risco no fornecimento e impacto no lucro".
Hidayat <i>et al.</i> (2021)	Genérica	<i>Best Worst Method</i> (BWM)/Fuzzy-TOPSIS	"Capacidades e disposição para colaborar".
Keskin e Kaymaz (2021)	Genérica	AHP/ <i>k-means</i>	"Níveis de risco avaliados".

Matshabaphala e Grobler (2021)	Genérica	<i>k-means/ Agglomerative hierarchical clustering/Self-organising map</i>	"Similaridades - agrupando fornecedores com base em suas semelhanças".
Borges <i>et al.</i> (2022)	Sustentável	<i>Hesitant Fuzzy Linguistic-TOPSIS</i>	"Capacidades e disposição para colaborar".
Ramezani <i>et al.</i> (2022)	Genérica	<i>k-means</i>	"Comportamentos trabalhistas dos motoristas".
Arantes <i>et al.</i> (2022)	Genérica	AHP	"Impacto estratégico e risco no fornecimento".
Xu <i>et al.</i> (2022)	Indústria 4.0	<i>Canopy algorithm/ K-medoids algorithm</i>	"Localização geográfica".
Ghuguea <i>et al.</i> (2022)	Genérica	Delphi/AHP	"Impacto no Lucro e compatibilidade técnica".
Pawlicka e Bal (2022)	Sustentável	Kraljic <i>matrix</i>	"Tipo de fornecedor, as suas necessidades financeiras, a percentagem deste grupo de fornecedores e o nível de risco do investimento".
Barrera <i>et al.</i> (2022)	Sustentável	AHP/MAUT/PROMETHEE/ FlowSort	"Análise social e análise ambiental".
Li <i>et al.</i> (2023)	Indústria 4.0	SF-BWM/Agent-based simulation	"Impactos potenciais de eventos futuros".
Figueira <i>et al.</i> (2023)	Genérica	PROMETHEE	"Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); Desempenho do setor público".
Yalcin <i>et al.</i> (2023)	Genérica	SVN-AHP/SVN-TOPSIS	"Capacidades e desempenho, a força do relacionamento fornecedor-comprador".
Shiralkar <i>et al.</i> (2023)	Genérica	<i>Stochastic optimization techniques</i>	"Retornos financeiros e o risco associado".
Paybarjay <i>et al.</i> (2023)	Sustentável	<i>Best Worst Method/ Simple Additive Weighting</i>	"Econômica, ambiental e social".
Rahiminia <i>et al.</i> (2023)	Sustentável	<i>Best worst method/K-means</i>	"Características dos fornecedores e os aspectos dos itens comprados".
Mavi <i>et al.</i> (2023)	Sustentável	Fuzzy AHP (FAHP)	"Critérios de seleção de fornecedores sustentáveis, incluindo risco no fornecimento".
Taghipour <i>et al.</i> (2023)	Sustentável	<i>Best worst method (BWM)/PROMETHEE</i>	"Responsabilidade social corporativa, sustentabilidade".
Causil e Morais (2023)	Sustentável	VFT, FITradeoff	"Níveis de sustentabilidade".
Barrera <i>et al.</i> (2023)	Genérica	PROMETHEE	"Valores negativos e positivos dos Net Flows".

Fonte: Adaptado de Borges e Lima Junior (2020, p. 4).

Com essa atualização, 55 artigos foram considerados na revisão sistemática apresentada nessa seção, destacando suas dimensões de segmentação e os tipos ou estratégias das cadeias de suprimentos. A Tabela 2 apresenta a distribuição dos artigos entre 2004 e 2023.

Tabela 2 - Distribuição dos artigos entre 2004 e 2023

Ano da publicação	Quantidade de artigos analisados	Porcentagem
2004	1	1,82%
2005	0	0,00%
2006	1	1,82%
2007	0	0,00%
2008	0	0,00%
2009	0	0,00%
2010	1	1,82%
2011	1	1,82%
2012	0	0,00%
2013	2	3,64%
2014	2	3,64%
2015	2	3,64%
2016	2	3,64%
2017	5	9,09%
2018	3	5,45%
2019	6	10,91%
2020	3	5,45%
2021	9	16,36%
2022	7	12,73%
2023	10	18,18%
Somatório	55	100,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

A Tabela 2 mostra um interesse crescente do uso dos modelos quantitativos para apoiar a segmentação de fornecedores nos últimos 3 anos. Em 2023 por exemplo, 10 artigos foram encontrados, representando 18,18% dos artigos analisados, contra 12,73% em 2022 e 16,36% em 2021. Com isso, os 3 últimos anos representam juntos 47,27% dos estudos investigados.

Por sua vez, a tabela 3 apresenta o uso resumido das dimensões de segmentação encontradas nos 55 estudos levantados.

Tabela 3 - Dimensões de Segmentação encontradas**(continua)**

Dimensões de Segmentação	Quantidade	Percentual
Capacidades e disposição para colaborar	13	23,64%
Risco no fornecimento e impacto no lucro	4	7,27%
Análise social e análise ambiental	1	1,82%
Atratividade de fornecedores e força da parceria	1	1,82%
Capacidade de agilidade e excelência empresarial	1	1,82%
Capacidades e desempenho, a força do relacionamento fornecedor-comprador	1	1,82%
Características dos fornecedores e os aspectos dos itens comprados	1	1,82%
Características que reduzem o número de variáveis impactando as operações	1	1,82%
Comportamentos trabalhistas dos motoristas	1	1,82%
Compromisso do fornecedor com o fabricante de veículos e a importância da matéria-prima para o fabricante de veículos	1	1,82%
Critérios de seleção de fornecedores sustentáveis, incluindo risco no fornecimento	1	1,82%
Custo dos produtos, risco no fornecimento e impacto na sustentabilidade	1	1,82%
Custo e desempenho de entrega	1	1,82%
Decisões de investimento e decisões de colaboração	1	1,82%
Desempenho ambiental	1	1,82%
Desempenho crítico e Desempenho estratégico	1	1,82%
Econômica, ambiental e social	1	1,82%
Eficiência na diversidade e eficiência cruzada	1	1,82%
Green/desempenho ambiental	1	1,82%
Impacto estratégico e risco no fornecimento	1	1,82%
Impacto no Lucro e compatibilidade técnica	1	1,82%
Impactos potenciais de eventos futuros	1	1,82%
Importância estratégica e atratividade da parceria	1	1,82%
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); Desempenho do setor público.	1	1,82%
Intensificadores de resiliência e redutores de resiliência.	1	1,82%
Investimentos específicos do Fornecedor e investimentos específicos dos Compradores	1	1,82%
Localização geográfica	1	1,82%
Níveis de risco avaliados	1	1,82%
Níveis de sustentabilidade	1	1,82%
Potencial da parceria e desempenho de entrega	1	1,82%

Fonte: Autoria própria (2024).

(conclusão)		
Dimensões de Segmentação	Quantidade	Percentual
Preferências de trabalho dos motoristas	1	1,82%
Responsabilidade social corporativa, sustentabilidade	1	1,82%
Retornos financeiros e o risco associado	1	1,82%
Risco no fornecimento, impacto no lucro, capacidades e disposição para colaborar	1	1,82%
Riscos e interrupções	1	1,82%
Similaridades - agrupando fornecedores com base em suas semelhanças.	1	1,82%
Tempo desde a colocação do pedido até a entrega completa do pedido (<i>Lead time</i>)	1	1,82%
Tipo de fornecedor, as suas necessidades financeiras, a percentagem deste grupo de fornecedores e o nível de risco do investimento	1	1,82%
Tipo de produto, demanda do cliente, custo de produção, qualidade do produto e tempo de produção	1	1,82%
Valores negativos e positivos dos <i>Net Flows</i>	1	1,82%
Somatório	55	100,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Apesar da inclusão de novos estudos, a Tabela 3 mostra que as capacidades de desempenho e a disposição para colaborar dos fornecedores permaneceram as dimensões de segmentação mais utilizadas, com 13 artigos (23,64% dos artigos analisados). Em segundo lugar, estão as dimensões risco no fornecimento e o impacto no lucro, com 4 artigos (7,27% dos artigos analisados). Por sua vez, a Tabela 4 apresenta a quantidade de modelos identificados para cada tipo de estratégia de cadeia de fornecimento.

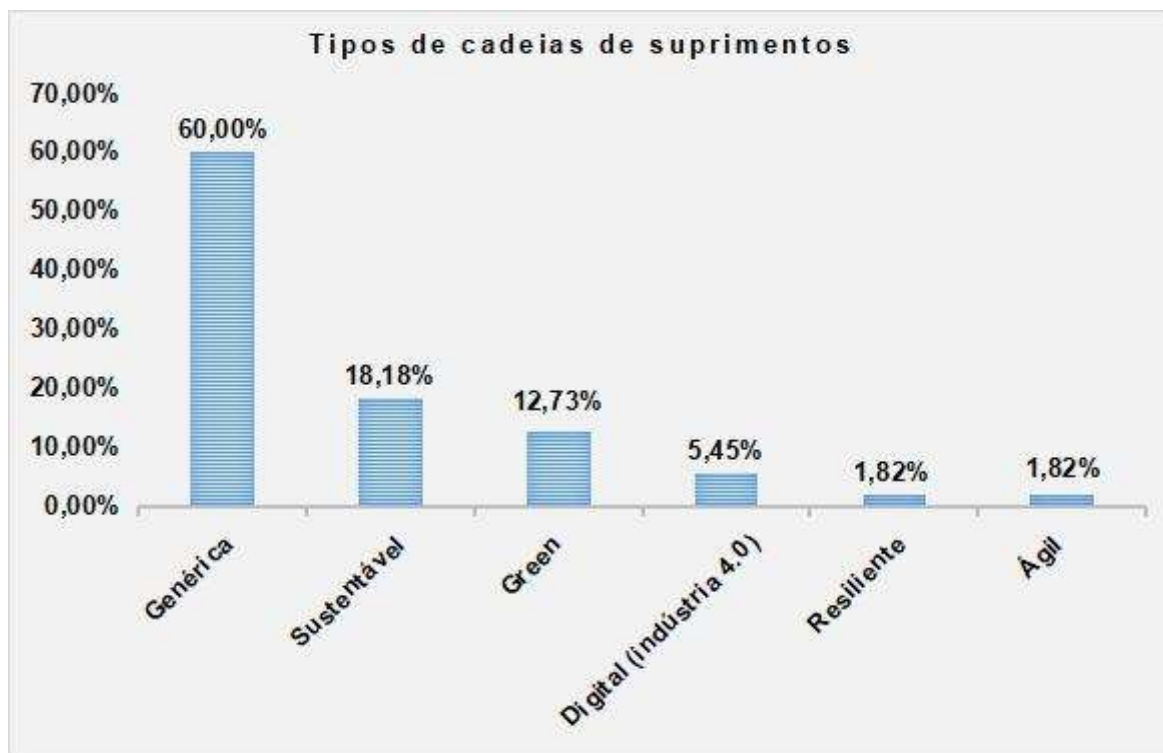
Tabela 4 – Tipos de cadeias de suprimentos abordados nos estudos analisados

Tipo de cadeia	Quantidade	Percentual
Genérica	33	60,00%
Sustentável	10	18,18%
Green	7	12,73%
Digital (indústria 4.0)	3	5,45%
Resiliente	1	1,82%
Ágil	1	1,82%
Somatório	55	100,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, a Figura 1 apresenta em forma de gráfico, a distribuição das estratégias da cadeia de suprimentos em questão.

Figura 1 – Representação dos tipos de cadeias de suprimentos encontrados



Fonte: Autoria própria (2024).

Como pode ser visto na Tabela 4, 60% dos artigos levantados não apresentam uma estratégia especial, sendo classificados dentro da estratégia genérica. Os resultados mostram que 18,18% dos estudos são voltados a cadeias sustentáveis, enquanto 12,73% focam em cadeias green, 5,45% em cadeias digitais (*supply chains 4.0*) e 1,82% em cadeias ágeis. Como pode ser visto, foi encontrado apenas 1 estudo voltado a cadeias de suprimentos resilientes, o que corresponde a 1,82% dos estudos investigados.

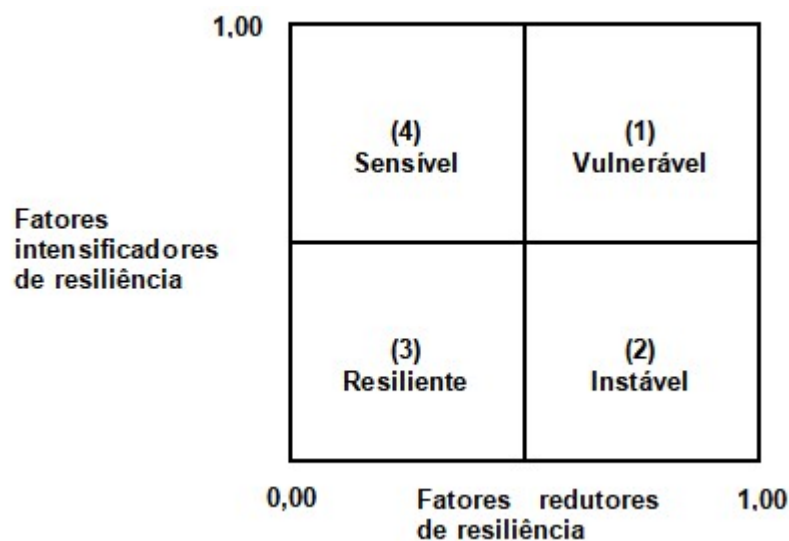
Ressalta-se que o modelo resiliente em questão foi proposto por Parkouhi *et al.* (2019) baseado no método DEMATEL, tendo como dimensões de segmentação os fatores intensificadores de resiliência e os fatores redutores de resiliência dos fornecedores a ser avaliados dentro da cadeia de suprimentos. Com isso, a cadeia de suprimentos é segmentada em quatro categorias: instável, vulnerável, sensível e resiliente (Parkouhi *et al.* 2019).

Os critérios de decisão em cada uma das bases de segmentação do estudo proposto por Parkouhi *et al.* (2019) são os seguintes:

- a) Intensificadores de resiliência: *lead time* de pedidos, customização, flexibilidade de processos, *yield rate* (ou taxa de rendimento), sentimento de confiança, atitude gerencial para o futuro, nível de colaboração, proximidade de relacionamento, variação de preço, visibilidade, segurança, controles e programas ambientais;
- b) Redutores de resiliência: limite de capacidade do fornecedor, tempo para formar o relacionamento, dificuldades de aquisição de matéria-prima do fornecedor, custo do frete, vulnerabilidade, poder de negociação do fornecedor, risco financeiro, histórico de mau desempenho e reputação.

A Figura 2 mostra a matriz de segmentação de fornecedores abordada por Parkouhi *et al.* (2019).

Figura 2 - Segmentação de fornecedores com base nos fatores intensificadores e redutores de resiliência



Fonte: Adaptado de Parkouhi *et al.* (2019, p. 1127).

Com base em Parkouhi *et al.* (2019) e Wu *et al.* (2019), os fornecedores a ser avaliados que apresentam um menor índice da ordenação final correspondem às melhores alternativas em cada dimensão de segmentação. A partir da Figura 2, espera-se que os fornecedores a ser classificados como resilientes apresentem ao mesmo tempo um bom desempenho nas duas bases de segmentação, favorecendo a resiliência da cadeia de suprimentos.

Além de Parkouhi *et al.* (2019), há outro modelo de segmentação de fornecedores resilientes proposto por Brown (2017), que não foi incluído na atual revisão sistemática da literatura por se tratar de uma tese de doutorado. A Tabela 5 mostra as técnicas aplicadas nos artigos analisados.

Tabela 5 - Técnicas encontradas nos modelos

(continua)

Técnicas	Quantidade	Percentual
AHP	4	7,27%
PROMETHEE	3	5,45%
<i>Fuzzy AHP (FAHP)</i>	2	3,64%
<i>Best Worst Method (BWM)</i>	2	3,64%
<i>Fuzzy rule-based</i>	2	3,64%
<i>Fuzzy-TOPSIS</i>	2	3,64%
<i>k-means</i>	2	3,64%
<i>Fuzzy relations-based AHP</i>	1	1,82%
<i>AHP/Fuzzy 2-tuple</i>	1	1,82%
<i>AHP/k-means</i>	1	1,82%
<i>AHP/MAUT/PROMETHEE/FlowSort</i>	1	1,82%
<i>AHP/PROMETHEE/MAUT</i>	1	1,82%
<i>Best Worst Method (BWM)/Fuzzy-TOPSIS</i>	1	1,82%
<i>Best Worst Method (BWM)/PROMETHEE</i>	1	1,82%
<i>Best Worst Method/Simple Additive Weighting</i>	1	1,82%
<i>Best Worst Method/K-means</i>	1	1,82%
<i>Canopy algorithm/K-medoids algorithm</i>	1	1,82%
DEA	1	1,82%
<i>DEA/Fuzzy AHP/FAHP-TOPSIS</i>	1	1,82%
DELPHI/AHP	1	1,82%
DEMATEL	1	1,82%
<i>Dynamic generalized fuzzy multi-criteria group decision making (MCGDM)</i>	1	1,82%
ELECTRE TRI-rC	1	1,82%
<i>Fuzzy AHP/Fuzzy c-means</i>	1	1,82%
<i>Fuzzy c-means/Fuzzy formal concept analysis</i>	1	1,82%
<i>Fuzzy c-means/VIKOR</i>	1	1,82%
<i>Fuzzy inference systems (FISs)</i>	1	1,82%
<i>Fuzzy inference/Fuzzy grid method</i>	1	1,82%

Fonte: Autoria própria (2024).

(conclusão)

Técnicas	Quantidade	Percentual
<i>Fuzzy multi-attributes</i>	1	1,82%
G-BWM (<i>Group decision-making BWM</i>)	1	1,82%
<i>Hesitant Fuzzy Linguistic-TOPSIS</i>	1	1,82%
<i>k-means/Agglomerative hierarchical clustering/Self-organising map</i>	1	1,82%
<i>k-means/Simulated annealing algorithm/Taguchi method/AHP</i>	1	1,82%
<i>Kraljic matrix</i>	1	1,82%
<i>Latent class logit model (LCM)</i>	1	1,82%
<i>Maximum Value Attribute (MVA)</i>	1	1,82%
<i>R programming</i>	1	1,82%
<i>RST/VIKOR/Fuzzy C-means</i>	1	1,82%
<i>SF-BWM/Agent-based simulation</i>	1	1,82%
<i>Stochastic optimization techniques</i>	1	1,82%
<i>SVN-AHP/SVN-TOPSIS</i>	1	1,82%
Técnicas estatísticas (univariada e bivariada)	1	1,82%
Métricas de risco de fornecimento e análise dos impactos orçamentários	1	1,82%
VFT, FITradeoff	1	1,82%
VIKORSORT	1	1,82%
Somatório	55	100,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

A técnica mais utilizada de forma isolada foi *Analytic Hierarchy Process (AHP)* com quatro artigos, representando 7,27% dos estudos analisados. Como pode ser visto nos dados apresentados, a combinação de técnicas na resolução de problemas de segmentação de fornecedores é um assunto bem explorado, resultando em modelos híbridos ou em modelos que fazem uma combinação sequencial de técnicas, sem modificar suas características. As técnicas mais utilizadas em modelos híbridos foram *Fuzzy TOPSIS* e *Fuzzy AHP* com dois artigos para cada uma (3,64% dos estudos analisados para cada uma).

A Tabela 6 mostra os países dos autores responsáveis pela publicação dos artigos analisados. Essa contagem foi realizada a partir do país da instituição de filiação de cada autor do estudo, fazendo com que a soma ultrapasse o total da

amostra, pois cada estudo de cooperação pode envolver autores de diferentes países.

Tabela 6 - Países dos autores dos artigos publicados

País	Publicações (incluindo as cooperações)	Percentual (publicações)
Irã	7	10,00%
Brasil	6	8,57%
Turquia	6	8,57%
Holanda	6	8,57%
Índia	5	7,14%
USA	4	5,71%
China	4	5,71%
Espanha	4	5,71%
Colômbia	2	2,86%
México	2	2,86%
Indonésia	2	2,86%
Taiwan	2	2,86%
Itália	2	2,86%
Polônia	2	2,86%
Portugal	2	2,86%
Austrália	2	2,86%
Paquistão	1	1,43%
Suécia	1	1,43%
África do sul	1	1,43%
Tunísia	1	1,43%
Chile	1	1,43%
Coreia do Sul	1	1,43%
Japão	1	1,43%
Malásia	1	1,43%
Vietnam	1	1,43%
Rússia	1	1,43%
França	1	1,43%
República Checa	1	1,43%
Somatório	70	100,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Como pode ser visto nos dados apresentados na Tabela 6, os autores do Irã estão em primeiro lugar com sete publicações (10,00% das publicações). O Brasil, a

Turquia e a Holanda estão em segundo lugar com seis publicações individualmente, correspondendo a 8,57% das publicações para cada país. Em seguida, está a Índia com cinco publicações (7,14%), a China, os Estados Unidos da América e a Espanha com quatro publicações individualmente (5,71% das publicações para cada país). Além disso, há países com dois publicações correspondendo a 2,86% das publicações para cada um (Colômbia, México, Indonésia, Taiwan, Itália, Polônia, Portugal e Austrália), e por fim, países com uma publicação correspondendo a 1,43% das publicações para cada um (Paquistão, Suécia, África do sul, Tunísia, Chile, Coreia do Sul, Japão, Malásia, Vietnam, Rússia, França, Noruega e República Checa).

A Tabela 7 mostra os continentes aos quais os países dos autores responsáveis pelas publicações pertencem.

Tabela 7 - Os continentes de origem das publicações analisadas

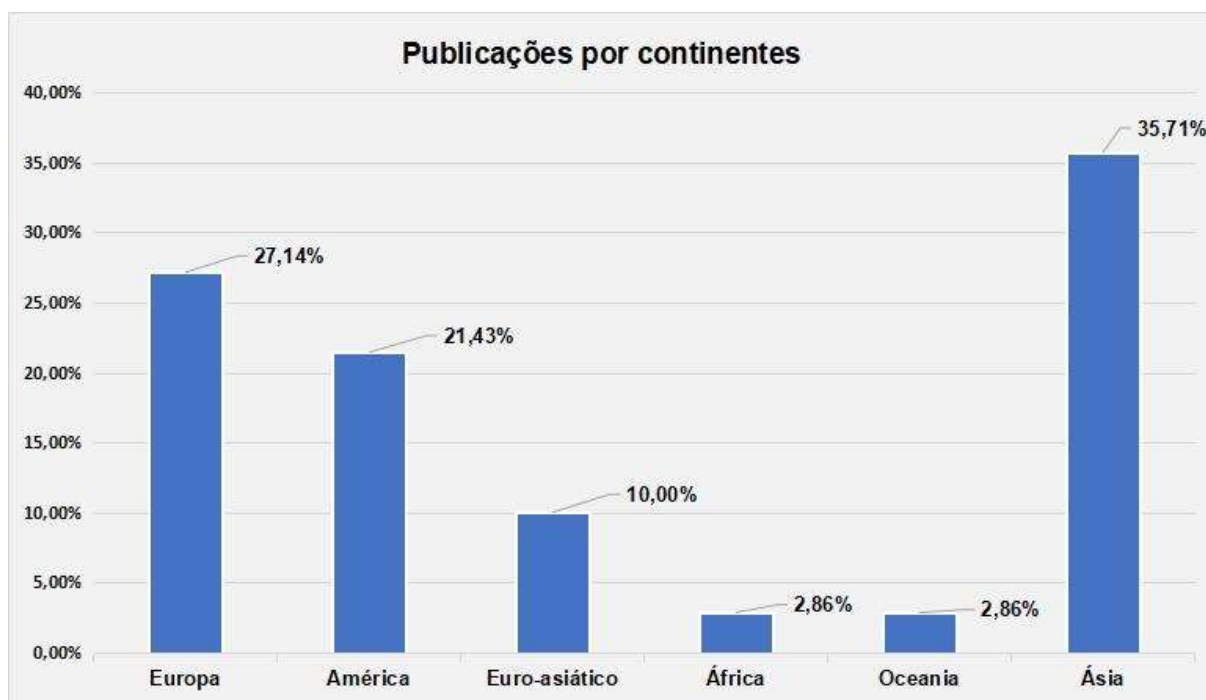
Continentes	Publicações (com as cooperações)	Percentual (publicações)
Ásia	25	35,71%
Europa	19	27,14%
América	15	21,43%
Euro-asiático	7	10,00%
África	2	2,86%
Oceania	2	2,86%
Somatório	70	100,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Foram encontrados doze artigos de cooperação envolvendo mais de um país. A nível de continentes e considerando os estudos de cooperação, a Ásia está em primeiro lugar, com 35,71% das publicações. A Europa está em segundo lugar com 27,14%, seguida pela América com 21,43%, Euro-asiático com 10,00%. A África e a Oceania estão cada uma com 2,86% das publicações. Vale ressaltar que a Turquia é considerada um país Euro-asiático, pois ocupa parte do extremo ocidental da Ásia e do sudeste da Europa.

Além disso, a Figura 3 mostra visualmente a distribuição das publicações nos continentes em questão.

Figura 3 - Continentes responsáveis pelos artigos publicados



Fonte: Autoria própria (2024).

Os resultados atuais e o estudo realizado por Borges e Lima Jr. (2020) mostraram que as capacidades dos fornecedores e a disposição para colaborar permanecem as dimensões de segmentação mais utilizadas. O país com maior número de publicações passou a ser o Irã. A técnica mais usada na segmentação de fornecedores permanece o AHP.

Além disso, quanto ao tipo de estratégia de cadeia de fornecimento adotada pelos modelos, a maioria não é voltada para uma estratégia específica (73,1% em 2020 contra 60,00% em 2023). Esse resultado mostra que há oportunidades de pesquisa para situações que envolvem uma estratégia bem definida de cadeia de suprimentos. Dentre os estudos que consideram um tipo específico de estratégia, a maioria era voltada para cadeias *green* (23,1% em 2020 contra 12,73% em 2023). Atualmente, a maioria passou a ser voltada para cadeias sustentáveis (3,8% em 2020 contra 18,18% em 2023).

Por fim, em relação a ausência de uso das técnicas levantadas por Borges e Lima Junior (2020) na segmentação de fornecedores, TOPSIS, ANP, *Fuzzy-QFD*, *Hesitant Fuzzy QFD* e *Hesitant Fuzzy VIKOR* permanecem ainda sem aplicações. Vale a pena destacar que a teoria referente aos conjuntos *Fuzzy* foi desenvolvida por Zadeh (1965) para permitir a modelagem dos conceitos em questão. Essa teoria

é adequada para situações de incertezas ou hesitação. Na teoria de conjunto *Fuzzy*, um elemento tem um grau de pertinência dentro do conjunto *Fuzzy* considerado. Com isso, a lógica *Fuzzy* foge da lógica clássica dos conjuntos, um julgamento não se limita a ser verdadeiro ou falso, mas parcialmente verdadeiro com um certo grau de pertinência que varia entre 0 e 1 (Zadeh, 1965).

Na revisão sistemática da literatura atualizada, foi encontrado um estudo com base na técnica *Hesitant Fuzzy* proposto por Borges *et al.* (2022). No estudo em questão, os autores propuseram um modelo para apoiar decisões em grupo de decisores, em cenários de incerteza e hesitação no processo de segmentação de fornecedores sustentáveis. O modelo proposto por esses autores é voltado a cadeias de suprimentos sustentáveis com base no *Hesitant Fuzzy-TOPSIS* e em critérios econômicos, sociais e ambientais. O modelo em questão classifica os fornecedores avaliados em uma matriz de segmentação de acordo com as suas capacidades e a disposição para colaborar. Portanto, esse modelo não apresenta dimensões voltadas à resiliência de cadeias de suprimentos e nem utiliza distribuições de possibilidades para modelar julgamentos hesitantes e assim evitar a perda de informação.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Na literatura consultada, há escassez de modelos de segmentação que consideram as capacidades de resiliência dos fornecedores (Brown, 2017; Parkouhi *et al.*, 2019). As teorias sobre a resiliência na gestão de cadeias de suprimentos são recentes e há ainda domínio de critérios como qualidade, preço, prazo de entrega e gestão ambiental. Por meio da análise de estudos de revisão sistemática sobre modelos decisórios para segmentação de fornecedores (Borges; Lima Jr., 2020; Bongale *et al.*, 2021), e de um levantamento bibliográfico feito no presente estudo sobre o presente tema (apresentado na Seção 1.1), foram encontrados apenas dois estudos (Brown, 2017; Parkouhi *et al.*, 2019) que apresentam um modelo decisório para segmentação de fornecedores resilientes. Além disso, os dois estudos encontrados para esse propósito apresentam algumas limitações.

Brown (2017) desenvolveu um modelo de segmentação de fornecedores resilientes que acrescentou critérios associados a resiliência e a robustez a uma

matriz de segmentação já existente, fazendo uso de modelagem e simulação computacional. O modelo em questão analisou a resiliência comparando o desempenho dos fornecedores em situação normal e o desempenho destes mesmos fornecedores quando os aspectos de resiliência e de robustez eram acrescentados dentro do segmento avaliado.

O estudo desenvolvido por Brown (2017) é uma tese de doutorado baseada no método ABMS (*Agent Based Modeling and Simulation*), que requer programações computacionais complexas e pode não ser adequado para o uso por usuários que não são programadores. Tais modelos são caros para implantação em termos de tempo e recursos computacionais (Davis; Marcus, 2016).

Parkouhi *et al.* (2019) usaram critérios de resiliência na seleção e segmentação de fornecedores com o apoio dos métodos Grey DEMATEL (*Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*) e Grey Simple Additive Weighting. O Grey Simple Additive Weighting Method auxiliou na priorização e segmentação das alternativas.

Bongale *et al.* (2021, p.5) declararam que o método DEMATEL “exige uma compreensão profunda das interdependências entre vários critérios e a determinação de relações de causa e efeito entre eles”. Esses autores acrescentaram que a principal característica do método DEMATEL é a determinação do *ranking* de alternativas com base em relações interdependentes entre vários critérios. No entanto, o DEMATEL não considera critérios independentes ou não correlacionados no processo de tomada de decisão (Bongale *et al.*, 2021); não considera também os pesos relativos dos especialistas na agregação de julgamentos em processos decisórios em grupo (Zhang *et al.*, 2018).

Portanto, por intermédio da análise da literatura referente ao presente tema, foram identificadas as seguintes lacunas de pesquisa:

- i. Ainda que haja dezenas de modelos para segmentação de fornecedores, a maioria deles não é voltado para um paradigma específico de gestão de cadeias de suprimentos. Dentre as exceções, destacam-se os modelos voltados para segmentação de fornecedores em cadeias *green* e em cadeias sustentáveis. Portanto, há escassez de modelos para apoiar a tomada de decisão na segmentação de fornecedores resilientes;

- ii. Nenhum dos dois modelos encontrados na literatura para segmentação de fornecedores resilientes é adequado para prover suporte a processos decisórios em grupo, que envolvam dois ou mais especialistas, de modo a considerar os pesos destes especialistas. A atribuição de pesos aos especialistas possibilita levar em conta o nível de conhecimento e / ou o nível de responsabilidade de cada especialista em um determinado problema de tomada de decisão. No contexto de segmentação de fornecedores, a ponderação da opinião dos especialistas pode ser útil principalmente para atribuir maior peso às áreas que possuem mais conhecimento sobre os fornecedores ou que são mais afetadas pelas decisões associadas à gestão de fornecimento;
- iii. Os modelos encontrados na literatura para segmentação de fornecedores não são apropriados para apoiar os especialistas em situações de hesitação. Embora existam vários modelos que permitam aos especialistas o uso de termos linguísticos (ex. “médio”, “muito alto”) para representação dos seus julgamentos, apenas um deles (Borges *et al.*, 2022) possibilita a adoção de mais de um termo, ou ainda de expressões linguísticas, quando há hesitação por parte dos especialistas na escolha entre estes termos (ex. "entre médio e alto", "no mínimo médio").

O modelo de segmentação de fornecedores desenvolvido por Borges *et al.* (2022) é voltado à estratégia sustentável e considera as opiniões de um grupo de decisores. Esse modelo utiliza o método *Hesitant Fuzzy Linguistic TOPSIS* (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) em uma matriz de segmentação, tendo as “capacidades dos fornecedores” e a “disposição para colaborar” como dimensões de segmentação. Ainda que esse modelo seja adequado para lidar com decisões sob incerteza e hesitação, ele não contempla aspectos de resiliência dos fornecedores.

Além disso, apesar da exploração na literatura de diversas técnicas para segmentar os fornecedores, nenhum dos modelos encontrados utiliza a abordagem *Hesitant Fuzzy Linguistic Fuzzy Set* (HFLTS) combinada com o método *Quality Function Deployment* (QFD), denominada HFLTS-QFD. Também não foi encontrado nenhum modelo para segmentação de fornecedores baseado em HFLTS-VIKOR (*VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*). Uma vez que no processo de segmentação de fornecedores, os decisores podem ter suas avaliações

influenciadas pela subjetividade e pela hesitação, devido às incertezas do ambiente e ao uso de critérios cuja avaliação é qualitativa e/ou imprecisa.

Para lidar com a hesitação dos decisores, os princípios dos HFLTSs são mais adequados que a lógica *fuzzy* tradicional (Rodríguez Martinez; Herrera, 2012), trazendo maior flexibilidade aos decisores devido à possibilidade de usar mais de um termo linguístico (Beg; Rashid, 2013). Por fim, também não foi encontrado nenhum modelo de tomada de decisão que combine as técnicas HFLTS-QFD e HFLTS-VIKOR. Essa combinação poderia contribuir para a literatura ao fornecer uma abordagem integrada que possibilitaria a avaliação de requisitos, critérios e fornecedores utilizando expressões linguísticas e levando em conta os pesos dos especialistas.

1.3 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral do presente trabalho é propor um modelo para segmentação de fornecedores resilientes baseado nos métodos HFLTS-QFD e HFLTS-VIKOR. Para alcançar o objetivo geral traçado, foram determinados os objetivos específicos abaixo:

- a) Explorar o levantamento sistemático da literatura realizado no trabalho, baseado nos modelos quantitativos usados na segmentação de fornecedores;
- b) Propor um modelo teórico de apoio à tomada de decisão referente a segmentação de fornecedores resilientes;
- c) Realizar a implementação computacional do modelo teórico proposto;
- d) Desenvolver uma aplicação piloto utilizando dados reais coletados em uma empresa por meio de uma equipe de decisores formada por especialistas;
- e) Realizar a análise de sensibilidade por meio de testes para verificar a robustez dos resultados gerados pelo modelo proposto e o efeito da alteração dos pesos dos critérios de decisão sobre os resultados.

1.4 JUSTIFICATIVAS

Entre os principais motivadores que justificam o desenvolvimento do presente estudo, pode-se destacar:

- a) As teorias sobre resiliência da cadeia de fornecimento se desenvolveram a ponto de se tornarem uma área de pesquisa, apresentando uma rica produção acadêmica (Katsaliaki *et al.*, 2021). Dolgui *et al.* (2018) abordaram alguns distúrbios notáveis e suas consequências. Entre esses eventos incertos estão o incêndio na planta da Philips microchip no ano de 2000 em Nova México que provocou a falta de chips no mercado, resultando em \$ 400 milhões de vendas perdidas para a empresa Ericsson no ramo de celulares. Da mesma forma, no ano de 2011 o terremoto-Tsunami no Japão gerou grandes prejuízos para as empresas locais responsáveis pela fabricação de componentes. No ano de 2016, uma disputa de contrato entre a empresa Volkswagen e dois de seus fornecedores de peças paralisou a produção em 6 das fábricas alemãs da montadora. Cerca de 28000 funcionários foram demitidos ou contratados a tempo parcial. Todos esses eventos implicaram em problemas de abastecimento e prejudicaram o funcionamento de diversas cadeias de suprimentos. Além disso, o enfrentamento da pandemia do COVID-19 nos últimos anos e da crise gerada pela guerra entre a Rússia e a Ucrânia reforçam a necessidade de desenvolver práticas que aumentem a resiliência dos fornecedores a fim de prevenir problemas de abastecimento. As cadeias de fornecimento resilientes necessitam responder às interrupções, ao mesmo tempo em que devem reduzir custos de fornecimento e aumentar as margens dos produtos (Mari *et al.*, 2019). Nesse cenário, a incorporação do conceito de resiliência às práticas de gestão de fornecimento tem o potencial de contribuir para o desenvolvimento de soluções de tomada de decisão adequadas ao cenário econômico atual. Ainda que a resiliência em cadeias de suprimentos venha ganhando cada vez mais importância, ainda há poucos modelos de segmentação de fornecedores resilientes encontrados na literatura, e eles apresentam as limitações discutidas anteriormente. O desenvolvimento do presente estudo possibilitará contornar essas limitações;
- b) Embora o método QFD seja uma técnica bastante difundida para apoiar a gestão da qualidade no projeto de produtos e serviços, cujas extensões passaram a ser

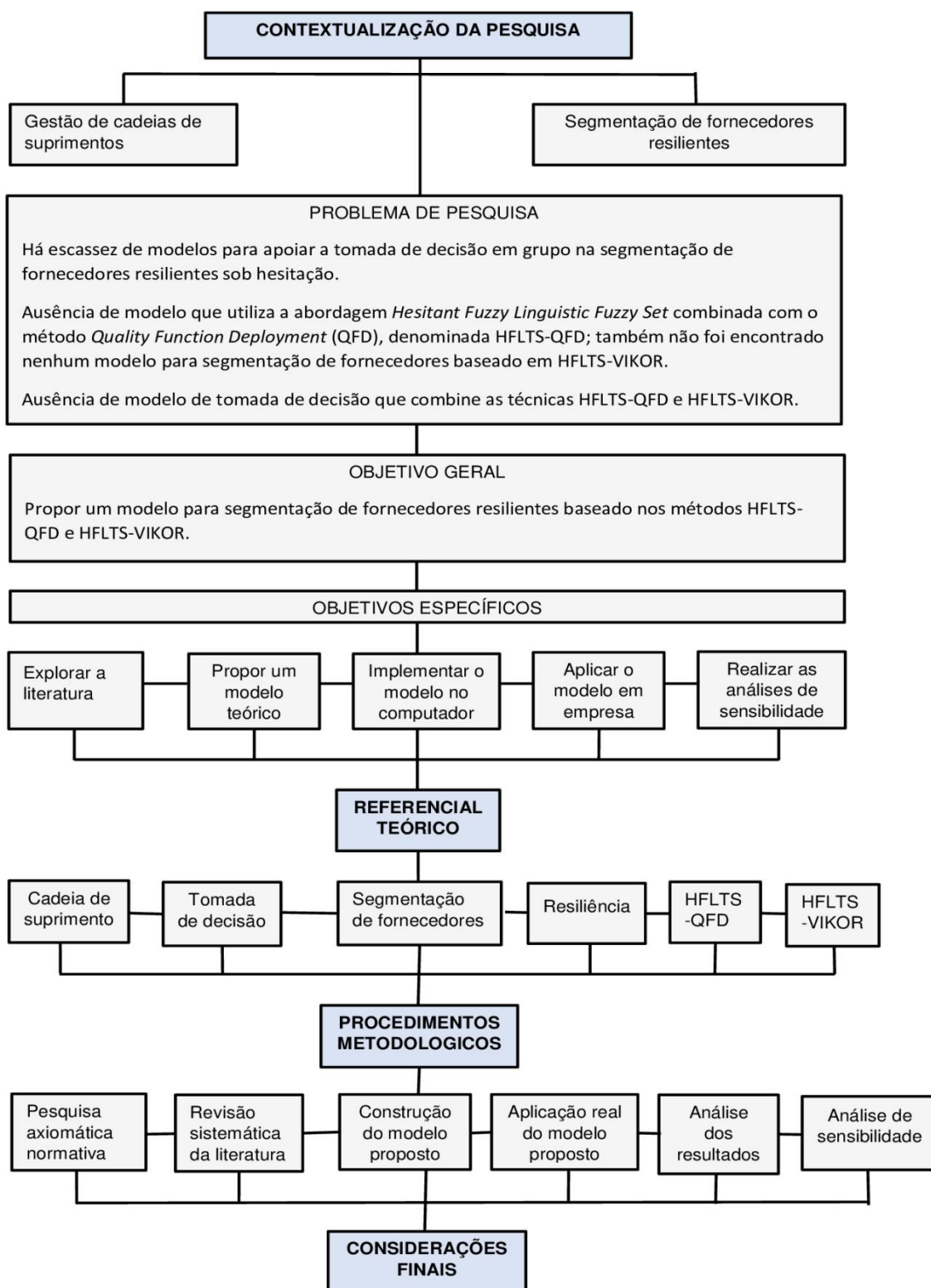
- adotadas em problemas de tomada de decisão em outras áreas empresariais, há a ausência de aplicações dos métodos *Fuzzy* QFD e HFLTS-QFD na segmentação de fornecedores (Borges; Lima Jr., 2020). Ao contrário de outros métodos de tomada de decisão, o uso da abordagem HFLTS-QFD possibilita selecionar e ponderar os critérios de segmentação com base nos requisitos definidos por um grupo de especialistas da empresa compradora, levando em consideração o peso atribuído à opinião de cada especialista (Osiro *et al.*, 2018);
- c) O uso do HFLTS-VIKOR com distribuições de possibilidades para ranquear os fornecedores, é uma abordagem que tem o potencial de prevenir a perda de informações dos decisores quando eles hesitam ao fornecer seus julgamentos. Essa abordagem atribui maior peso aos termos linguísticos que são escolhidos com menor hesitação, ao mesmo tempo em que atribui menor peso aos julgamentos expressados com maior hesitação (Wu *et al.*, 2019).

A principal contribuição deste estudo está no fato de propor um modelo de tomada de decisão em grupo para segmentação de fornecedores. Além de um modelo teórico que orientará o processo de aplicação das técnicas HFLTS-QFD e HFLTS-VIKOR, esse estudo produzirá uma ferramenta computacional implementada em *Microsoft Excel* que possibilitará a realização dos cálculos destas técnicas de forma acessível (Borges *et al.*, 2022). Também contribuirá com a empresa participante deste estudo na fase de coleta de dados, ao apresentar uma abordagem para segmentação de fornecedores e ao promover a troca de conhecimentos sobre tomada de decisão com os especialistas desta empresa.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A Figura 4 apresenta a estrutura do presente trabalho. Além da atual Seção introdutória que aborda a contextualização da pesquisa, o trabalho é também composto por seis seções essenciais, sendo cinco capítulos (Referencial teórico, Métodos, Proposta do modelo teórico, Aplicação do modelo proposto e Análise de sensibilidade) e uma conclusão.

Figura 4 - Estrutura da dissertação



Fonte: Autoria própria (2024).

Com isso, a Seção 2 apresenta um referencial bibliográfico sobre segmentação de fornecedores resilientes, modelos de apoio à segmentação de fornecedores, dentre outros tópicos pertinentes ao presente estudo. A Seção 3 aborda os procedimentos metodológicos, explanando as características e os passos da presente pesquisa. A Seção 4 aborda o modelo proposto para segmentação de fornecedores resilientes. A Seção 5 aborda o teste piloto, apresentando a empresa, a equipe dos decisores e os dados coletados por intermédio dos julgamentos linguísticos dos decisores em questão e com base no “APÊNDICE A – ROTEIRO PARA COLETA DE DADOS” do atual trabalho. A Seção 6 aborda os testes de validação do modelo proposto. Por fim, a Seção 7 corresponde à conclusão do trabalho, trazendo as considerações finais do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção discute conceitos sobre gestão de cadeia de suprimentos resilientes, o processo de segmentação de fornecedores, os fundamentos dos *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets*, o método HFLTS-QFD e o método HFLTS-VIKOR.

2.1 GESTÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS RESILIENTES

A gestão de cadeias de suprimentos pode ser entendida como sendo “a coordenação estratégica e sistêmica dos negócios tradicionais e das ações táticas numa companhia visando aprimorar o desempenho dos membros da cadeia de fornecimento” (Mentzer *et al.*, 2001, p. 18). Bowersox *et al.* (2014) acrescentaram que a cooperação de todos os membros da cadeia de fornecimento têm potencial para reduzir os riscos e aumentar a eficiência de todos os processos. Por sua vez, Lambert, Cooper e Pagh (1998, p. 1) conceituaram a gestão da cadeia de fornecimento como sendo “a incorporação dos processos de negócio chave, do usuário final até os fornecedores originais de produtos, serviços e informações que agregam valor aos clientes e outros stakeholders”.

A gestão de cadeias de suprimentos resilientes visa de maneira estratégica a construção de cadeias de fornecimentos capazes de lidar com distúrbios, tais como as rupturas no fornecimento de materiais, os desastres naturais, as greves dos trabalhadores, as alterações dos regulamentos governamentais, as faltas de peças e as quebras de equipamentos. Tais eventos incertos podem causar prejuízo financeiro para as empresas. Bongale *et al.* (2021) versaram sobre os impactos causados pela pandemia global do coronavírus e declararam que “as interrupções nas cadeias de fornecimento impactaram 94% da fortuna de 1000 empresas”. Além disso, a recente guerra entre a Rússia e a Ucrânia impactou a economia global com interrupções no fornecimento das cadeias de suprimentos, o encarecimento de alimentos e combustíveis.

Parkouhi *et al.* (2019, p. 1124) definiram a resiliência como sendo “um conceito multidisciplinar”. Nesse sentido, a resiliência envolve várias disciplinas e áreas de pesquisa. Segundo Ponomarov e Holcomb (2009, p. 126), a palavra

resiliência tem origem na ciência dos materiais e pode ser apresentada como sendo “a capacidade de um sistema de voltar ao seu estado inicial após sofrer uma deformação elástica sem alteração em sua natureza”. Scavarda *et al.* (2015) destacaram a importância de incorporar este conceito no cenário de gestão de operações devido à instabilidade do mercado e à ocorrência de impactos ambientais e desastres. Portanto, a resiliência da cadeia de fornecimento é um conceito novo para mitigar riscos (Mari *et al.*, 2019). Falasca *et al.* (2008, p. 596) acrescentaram que a resiliência pode ser definida como sendo “a capacidade de reduzir a probabilidade de uma interrupção, reduzir o impacto da interrupção e reduzir o tempo de recuperação para o desempenho normal”.

Para Christopher e Peck (2004, p. 4), uma possível definição da resiliência é “a capacidade que a cadeia apresenta de se recuperar ou passar para um estado mais desejável após a ocorrência de uma interrupção”. Nesse sentido, esses autores consideram que a resiliência se refere principalmente à capacidade de recuperação. O processo de recuperação após distúrbios gera maturidade para a cadeia de suprimentos lidar com futuros eventos incertos (Mari *et al.*, 2019). Desta forma, a resiliência de cadeias de suprimentos também auxilia as empresas na proteção contra interrupções (Rahman *et al.*, 2022).

Para Brown (2017), as capacidades dos fornecedores mais encontradas nas estratégias de resiliência da cadeia de fornecimento por parte dos gestores estão relacionadas à visibilidade (conhecer a cadeia de suprimentos de ponta a ponta), análise de dados, colaboração, desenvolvimento de fornecedores, treinamento e aprendizado, planejamento de continuidade de negócios, gestão de inventário, redundância, agilidade, flexibilidade, velocidade, estrutura, poder e dependência.

O desempenho da cadeia de fornecimento é afetado negativamente pelo surgimento de distúrbios (Parkouhi *et al.*, 2019), mas, a preparação e o comportamento resiliente da cadeia de fornecimento auxiliam para a recuperação do desempenho normal do sistema contra distúrbios. Existe uma vasta literatura que nomeia e analisa os motivos das rupturas nas cadeias de suprimentos. A literatura fornece várias maneiras de agrupar os motivos das interrupções (Katsaliaki *et al.*, 2021). Alguns agrupamentos podem ser estabelecidos por setores da cadeia (produção, abastecimento e interrupções no transporte), motivo que causou a interrupção, frequência de ocorrência, natureza e origem. Além disso, os eventos

disruptivos são caracterizados pelo seu tipo, intensidade, duração, fonte e impacto (Katsaliaki *et al.*, 2021). Esses eventos podem ter um impacto individual, um impacto local para fornecedores em uma área geográfica, ou um impacto global que afete todos fornecedores ou escalões da cadeia de suprimentos simultaneamente. Os fornecedores podem sofrer esses três tipos de riscos de ruptura (Sawik, 2014).

Wagner e Neshat (2012) versaram a respeito da dificuldade das empresas em medir os impactos das interrupções na cadeia de suprimentos e a limitação das evidências empíricas. Para esses autores, medir e gerenciar a vulnerabilidade da cadeia de suprimentos tornou-se crítico por causa da alta vulnerabilidade das cadeias de fornecimento atuais a interrupções. No entanto, existem pesquisas que auxiliaram na quantificação do impacto das interrupções (Dolgui *et al.*, 2018; Katsaliaki; Galetsi; Kumar, 2021).

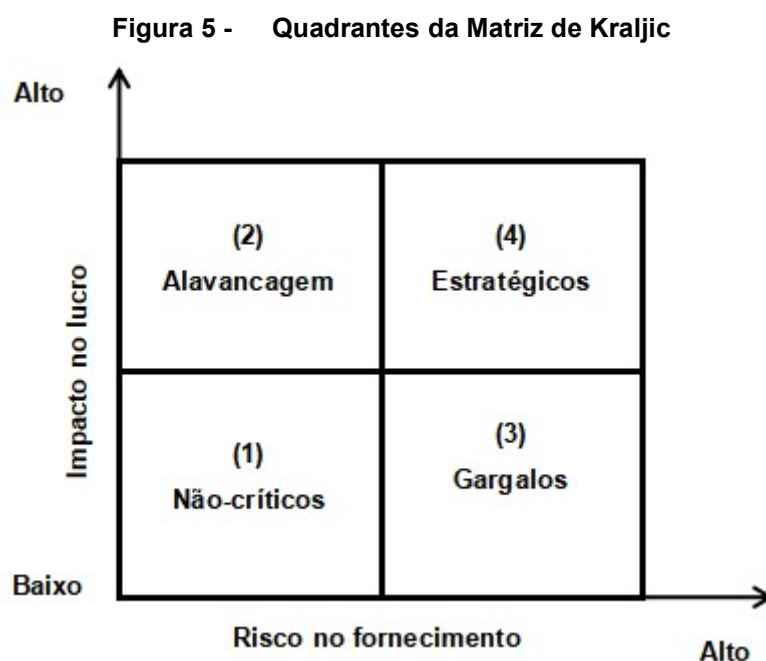
A implementação de práticas relacionadas à preparação (Chen *et al.*, 2020), capacidade de resposta (Amindoust, 2018) e recuperação (Sabouhi *et al.*, 2018) são cruciais para sobreviver às interrupções. A preparação pode ser vista como sendo uma estratégia proativa, enquanto a capacidade de resposta como a capacidade de adaptação e resposta durante interrupções. Já a recuperação refere-se à capacidade de se recuperar e aprender (Ali; Gölgeci, 2019).

Katsaliaki *et al.* (2021) abordam o uso das tecnologias de informação para resiliência e resposta a interrupções, destacando os sistemas de planejamento computadorizado como o planejamento de requisições de materiais, o planejamento de recursos da Produção e o ERP (*Enterprise Resource Planning*) para o planejamento de recursos empresariais; veículos guiados automaticamente e tecnologias de rastreamento para atendimento seguro e eficaz de pedidos de atacadistas; a identificação de produtos por rádio frequência (RFID - *Radio Frequency Identification*) para controle de inventário; o GPS (*Geographic Positioning Systems*) para distribuição oportuna e menos dispendiosa de mercadorias; o *blockchain* para construção de um banco de dados digital dos eventos executados e compartilhados entre os participantes da cadeia de fornecimento (Crosby *et al.*, 2016).

2.2 SEGMENTAÇÃO DE FORNECEDORES

Bongale *et al.* (2021, p.1-2) definiram a segmentação de fornecedores como “a definição de um número gerenciável de categorias de fornecedores baseado em certas características ou dimensões”. A redução do gasto com a produção, o acréscimo de qualidade, a diminuição de volume de estoque, a cooperação estratégica com alguns fornecedores e o gerenciamento facilitado do risco de fornecimento são algumas vantagens concedidas pela segmentação de fornecedores (Owusu-Bempah *et al.*, 2013).

A segmentação de fornecedores é de extrema importância para apoiar a elaboração de programas de desenvolvimento de fornecedores visando ganhos de eficiência (Lambert; Schwieterman, 2012). Um modelo precursor para auxiliar na segmentação de fornecedores foi desenvolvido por Kraljic (1983). A Figura 5 apresenta a matriz de segmentação de fornecedores proposta por esse autor.



Fonte: Adaptado de Kraljic (1983, p. 111).

Esta matriz é formada por eixos que representam as dimensões de desempenho dos fornecedores apontadas como importantes para o comprador (Borges *et al.*, 2022). No modelo em questão, as bases de categorização utilizadas são “Impacto no lucro” e “Risco no fornecimento”. Se os níveis baixo e alto forem

considerados para essas duas dimensões, forma-se uma matriz 2 x 2 composta por quatro partes (Kraljic, 1983):

- (1) Itens não-críticos (baixo risco de abastecimento; baixo impacto nos lucros);
- (2) Itens de alavancagem (baixo risco de abastecimento; alto impacto no lucro);
- (3) Itens gargalos (alto risco de abastecimento; baixo impacto no lucro);
- (4) Itens estratégicos (alto risco de abastecimento; alto impacto no lucro).

A classificação dos fornecedores em cada dimensão de categorização pode ser baseada em um método de decisão multicritério de desempenho e de seus pesos (Akman, 2015). O cruzamento entre tais dimensões determina alguns quadrantes ou grupos típicos de fornecedores dentro da matriz de segmentação, podendo apoiar a tomada de ações adequadas para a gestão de cada grupo. Portanto, após o agrupamento, várias estratégias podem ser desenvolvidas para lidar com os fornecedores desses quadrantes (Parkouhi *et al.*, 2019). A seção introdutória do presente trabalho apresenta mais detalhes sobre dimensões de segmentação e técnicas usadas para categorizar os fornecedores, com base na revisão sistemática da literatura sobre modelos quantitativos usados no processo de segmentação de fornecedores.

2.3 FUNDAMENTOS DOS *HESITANT FUZZY LINGUISTIC TERM SETS*

Apesar dos modelos com base em lógica *Fuzzy* serem apropriados para lidar com incertezas devido à possibilidade do uso de termos linguísticos para expressar as avaliações por parte dos decisores, a lógica *Fuzzy* tradicional possibilita ao tomador de decisão a escolha de um único termo linguístico referente a cada pontuação de alternativa de fornecimento ou peso de critério a ser avaliado (Osiro *et al.*, 2018). Zadeh (1965) acrescenta que um termo linguístico caracteriza uma variável linguística, cujos valores possíveis não são números exatos, mas palavras ou julgamentos em uma linguagem natural, como “alto, médio ou baixo”. Essa representação aproxima mais dos processos cognitivos humanos. Por sua vez, o conceito sobre *hesitant fuzzy sets* foi introduzido por Torra (2010), objetivando a resolução das dificuldades na determinação do grau de pertinência de um elemento.

Nas situações em que o tomador de decisão hesita entre dois termos, e não está confortável para escolher um único termo por conta da incerteza, a lógica *Fuzzy* convencional se mostra inadequada, sendo mais adequado utilizar métodos baseados em HFLTS (*Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets*), uma extensão da lógica fuzzy para lidar com a tomada de decisão sob incerteza e / ou hesitação (Torra, 2010; Rodríguez *et al.*, 2012).

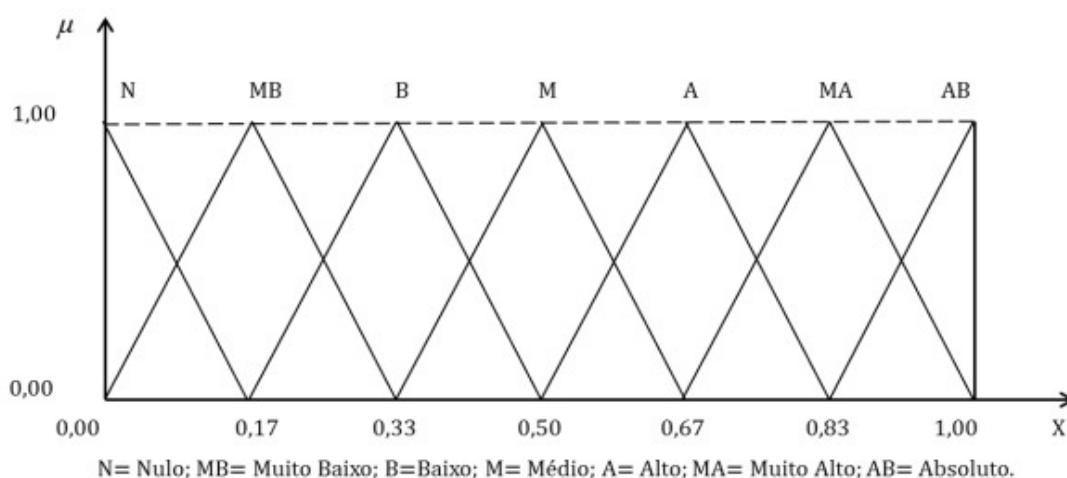
2.3.1 Definição De HFLTS

A conceitualização de HFLTS foi proposta por Rodríguez *et al.* (2012), baseada na teoria dos conjuntos *Fuzzy* e nos conceitos dos conjuntos *Hesitant Fuzzy* (Torra, 2010).

Sejam ϑ e S uma variável linguística e um conjunto de sete termos linguísticos respectivamente, conforme exemplificados na Equação 1 e na Figura 6 (Rodríguez *et al.*, 2012), τ é um inteiro positivo, $s_{-\tau}$ é o limite inferior e s_{τ} o limite superior dos termos linguísticos.

$$S = \{s_{-\tau}, \dots, s_0, \dots, s_{\tau}\} = \{\text{nenhum}, \text{muito baixo}, \text{baixo}, \text{médio}, \text{alto}, \text{muito alto}, \text{absoluto}\} \quad (1)$$

Figura 6 – Conjunto fuzzy de sete termos e expressões linguísticas



Fonte: Resende (2020, p. 53), adaptado de Rodríguez *et al.* (2012, p.110).

2.3.2 Transformação De Expressões Linguísticas Em HFLTS

A função $E_{GH}: ll \rightarrow H_S$ é usada para realizar a transformação das expressões linguísticas em HFLTS (H_S) (Rodríguez *et al.*, 2012);

1. $E_{GH}(s_i) = \{s_i \mid s_i \in S\};$
2. $E_{GH}(\text{no máximo } s_i) = \{s_j \mid s_j \in S \text{ e } s_j \leq s_i\};$
3. $E_{GH}(\text{menor que } s_i) = \{s_j \mid s_j \in S \text{ e } s_j < s_i\};$
4. $E_{GH}(\text{pelo menos } s_i) = \{s_j \mid s_j \in S \text{ e } s_j \geq s_i\};$
5. $E_{GH}(\text{maior que } s_i) = \{s_j \mid s_j \in S \text{ e } s_j > s_i\};$
6. $E_{GH}(\text{entre } s_i \text{ e } s_j) = \{s_k \mid s_k \in S \text{ e } s_i \leq s_k \leq s_j\}.$

Com base no conjunto dos termos linguísticos da Equação 1 e nas expressões linguísticas utilizadas por ll , seguem alguns exemplos de HFLTS (Rodríguez *et al.*, 2012):

$$H_S = E_{GH}(ll1 = \text{muito alto}) = \{\text{muito alto}\};$$

$$H_S = E_{GH}(ll2 = \text{maior que baixo}) = \{\text{médio, alto, muito alto, absoluto}\};$$

$$H_S = E_{GH}(ll3 = \text{entre muito baixo e médio}) = \{\text{muito baixo, baixo, médio}\}.$$

O Quadro 2 mostra alguns exemplos de expressões e termos linguísticas usados pelos decisores no apontamento dos julgamentos.

Quadro 2 - Exemplos de expressões linguísticas a serem usadas na avaliação dos requisitos, critérios e alternativas.

Expressão	Exemplo de uso	Termos linguísticos ativados
"No máximo..."	No máximo alto	[MB, B, M, A]
"Menor que..."	Menor que alto	[MB, B, M]
"Pelo menos..."	Pelo menos baixo	[B, M, A, MA, AB]
"Maior que..."	Maior que médio	[A, MA, AB]
"Entre... e ..."	Entre baixo e alto	[B, M, A]

Fonte: Adaptado de Resende (2020, p. 54).

Com isso, no presente trabalho, o Quadro 2 junto com o Quadro 6 exemplificam o uso das expressões linguísticas a serem adotadas para avaliação de requisitos, critérios de decisão e fornecedores no modelo proposto com bases nos métodos HFL-QFD e HFL-VIKOR a serem abordadas nos próximos tópicos.

2.4 O MÉTODO HFLTS-QFD

Proposta pela primeira vez por Onar *et al.* (2016) em um problema MCDM para apoiar na tomada de decisão referente a escolha de uma estação de trabalho computacional, a técnica HFLTS-QFD integra as matrizes do QFD com o uso de termos linguísticos representados por conjuntos HFLTS. Essa técnica procura a solução de problemas envolvendo decisão dentro de equipe de decisores, em situações de incerteza e hesitação (Onar *et al.*, 2016). Depois da primeira versão HFLTS-QFD proposta por Onar *et al.* (2016), Osiro *et al.* (2018) propuseram uma outra versão. A terceira versão foi proposta por Huang *et al.* (2019).

Na versão proposta por Osiro *et al.* (2018), o HFLTS-QFD não limita número de variáveis de entrada, permite considerar o nível de risco, contém matriz de relacionamento que permite associar requisitos do comprador a critérios de avaliação do fornecedor. Na versão em questão, os requisitos e os critérios são priorizados com base na técnica de medidas de distância entre os HFLTS; os julgamentos dos tomadores de decisão em relação ao peso dos critérios, ao grau de dificuldade na coleta das informações e ao desempenho das alternativas a ser avaliadas são determinados com base em julgamentos fazendo uso de termos e expressões linguísticas.

No presente trabalho, o HFLTS-QFD foi usado para definir e ponderar os critérios de avaliação baseado na versão proposta por Osiro *et al.* (2018). Essa versão foi escolhida por possibilitar a consideração de pesos diferentes para os julgamentos dos decisores, e por considerar o grau de dificuldade relacionado à coleta de dados como sendo um fator de decisão na escolha dos critérios de avaliação. Além disso, não há limitação em relação a quantidade dos requisitos, dos critérios e das alternativas de fornecimento que podem ser utilizados.

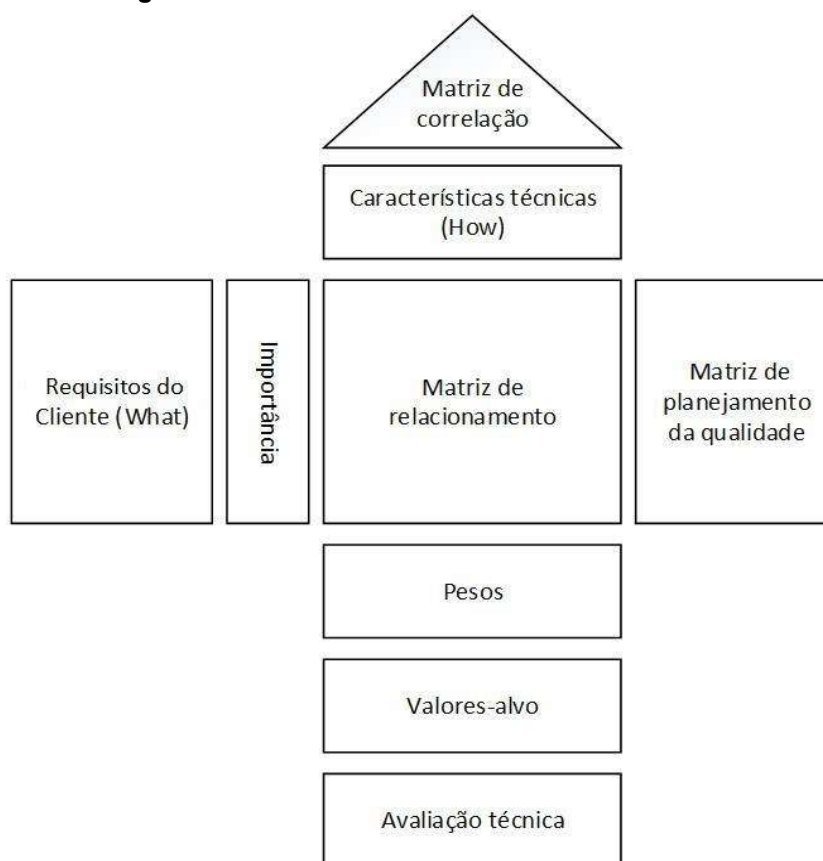
2.4.1 O Método QFD

O princípio do QFD (*Quality Function Deployment*) foi proposto por Akao (1966), no Japão. O QFD é uma técnica usada no desenvolvimento de um produto de qualidade visando a satisfação do cliente e traduzindo os requisitos do consumidor em metas de design ao longo do processo de fabricação. Sós e Földesi (2023, p. 148) definiram o QFD como sendo “um processo de design que adota uma abordagem qualitativa a novos produtos”. Com base em Kontio e Conradi (2002), o QFD tradicional é composto por quatro matrizes: planejamento do produto, projeto do produto, planejamento do processo e planejamento da produção.

Na fase de projeto, o QFD possibilita a execução de um produto de qualidade e estica o controle de qualidade para a fase em que não há produto acabado, apenas um conceito ou plano. O principal objetivo do método QFD é atender com excelência as necessidades do consumidor por meio do *design* de processos de fabricação e planejamento da produção, levando em consideração as expectativas do cliente (Sós; Földesi, 2023). Para isso, o QFD se baseia na “Casa da Qualidade”, ilustrada na Figura 7, relacionando e quantificando a importância relativa das características técnicas (dispostas na matriz “*How*”) em função da importância e relacionamento com os requisitos dos clientes (listados na matriz “*What*”).

Reduções de custo significativas foram alcançados com o surgimento do QFD. Além disso, a aplicação desse método se espalhou rapidamente entre as empresas de manufatura (Sós; Földesi, 2023).

Figura 7 - Estrutura da casa da Qualidade



Fonte: Adaptado por Yang *et al.* (2015, p. 232).

Vale a pena ressaltar que o método QFD comum possibilita apenas a utilização de valores numéricos na avaliação do peso dos requisitos e da intensidade de relacionamento com os critérios. Além disso, o método em questão apresenta dificuldades relacionadas ao tratamento de grandes quantidades de dados, à avaliação das relações entre requisitos dos clientes e características dos serviços, à tradução da voz do cliente nessas características. Nesse sentido, o QFD vem sendo combinado com outras técnicas, visando o seu aperfeiçoamento (Lima Jr.; Carpinetti, 2016).

Com isso, para superar algumas limitações do QFD, foi proposto o método Fuzzy QFD que possibilita julgamentos de importância e grau de relacionamento por intermédio do uso de termos linguísticos. Por sua vez, o método *Fuzzy* QFD também possui limitação por permitir aos decisores o uso de apenas um termo linguístico durante o processo de julgamento das alternativas. Portanto, nem o método QFD convencional, nem o método *Fuzzy* QFD comum lidam com hesitação (Onar *et al.*,

2016), sendo mais recomendado usar técnicas com base em HFLTS (Rodríguez *et al.*, 2012) para poder superar essa limitação.

Seguem as definições necessárias e os passos do HFLTS-QFD da versão escolhida no presente estudo para poder definir e ponderar os critérios de avaliação (OSIRO *et al.*, 2018):

2.4.2 Distância Entre Dois HFLTS

Para o uso dos HFLTS na solução de problemas MCDM, as medidas de distância entre dois conjuntos de HFLTS propostas por Liao *et al.* (2014) podem ser utilizadas. Com isso, a pontuação para cada alternativa i é dada por uma coleção de HFLTS, sendo uma para cada critério.

Considerando o conjunto de termos linguísticos $H_s^i = \{H_s^{i1}, H_s^{i2}, \dots, H_s^{im}\}$, H_s^{ij} corresponde a avaliação da alternativa i em relação ao critério de decisão j . Quando os critérios têm pesos diferentes, Liao *et al.* (2014) definiram a medida de distância ponderada generalizada entre H_s^1 e H_s^2 baseada na Equação 2.

$$d_{\text{gwd}}(H_s^1, H_s^2) = \left(\sum_{j=1}^m \frac{w_j}{L} \sum_{l=1}^L \left(\frac{|\delta_l^{1j} - \delta_l^{2j}|}{2\tau+1} \right)^\lambda \right)^{1/\lambda} \quad (2)$$

Onde λ é um parâmetro determinando diferentes medidas de distância. Para distância Euclidiana, como no caso do presente estudo, $\lambda = 2$. L representa o número de termos linguísticos em H_s^{1j} ou H_s^{2j} .

δ_l^{1j} é lth termo de H_s^{1j}

δ_l^{2j} é lth termo de H_s^{2j}

$2\tau + 1$ é a quantidade de termos linguísticos em S.

$W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^t$ é o vetor de ponderação satisfazendo $0 \leq w_j \leq 1$ e $\sum_{j=1}^m w_j = 1$.

2.4.3 Soluções Ideais Positivas E Negativas

Com base nos limites inferior H_s^{lj-} e superior H_s^{lj+} de um HFLTS, segue-se o procedimento proposto por Liao *et al.* (2014) para determinar as soluções ideais

positivas e negativas. Durante a avaliação do conjunto de alternativas $X = \{x_i | i = 1, \dots, n\}$, em relação ao conjunto de critérios de decisão $C = \{c_j | j = 1, \dots, m\}$, fazendo uso de HFLTS, a matriz de julgamento é obtida com base na Equação 3, onde H_s^{ij} é um HFLTS que corresponde ao desempenho da alternativa i baseado no critério j .

$$\begin{bmatrix} H_s^{11} & H_s^{12} & \dots & H_s^{1m} \\ H_s^{21} & H_s^{22} & \dots & H_s^{2m} \\ H_s^{31} & H_s^{32} & \dots & H_s^{3m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_s^{n1} & H_s^{n2} & \dots & H_s^{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dado um conjunto de termos linguísticos H_s^{ij} , seu limite superior é dado por $H_s^{ij+} = \max \{s_{ij} | s_{ij} \in H_s^{ij}\}$ e seu limite inferior é $H_s^{ij-} = \min \{s_{ij} | s_{ij} \in H_s^{ij}\}$. Com isso, as soluções linguísticas ideais positiva x^+ e negativa x^- são obtidas pelas equações (4) e (5) respectivamente.

$$x^+ = \{H_s^{j+} | j = 1, \dots, m\} \quad (4)$$

$$x^- = \{H_s^{j-} | j = 1, \dots, m\} \quad (5)$$

Onde

$$H_s^{j+} = \begin{cases} \max\{s_{ij} | i = 1, \dots, n\} & \text{para critérios de benefícios } c_j. \\ \min\{s_{ij} | i = 1, \dots, n\} & \text{para critérios de custo } c_j. \end{cases}$$

$$H_s^{j-} = \begin{cases} \min\{s_{ij} | i = 1, \dots, n\} & \text{para critérios de benefícios } c_j. \\ \max\{s_{ij} | i = 1, \dots, n\} & \text{para critérios de custo } c_j. \end{cases}$$

A distância entre cada alternativa x_i e suas soluções ideais x^+ e x^- é uma medida usada na escolha da melhor alternativa, baseado nos critérios de avaliação escolhidos. Com isso, a melhor alternativa apresentará a menor distância $d(x_i, x^+)$ ou a maior distância $d(x_i, x^-)$.

Além disso, Rodríguez *et al.* (2012, p. 112), apresentaram o envoltório de um HFLTS, $env(H_s)$, como “um intervalo linguístico onde os limites são obtidos a partir dos termos inferior (*min*) e superior (*max*) do subconjunto”. Portanto, $env(H_s) = [H_{s-}, H_{s+}]$, onde H_{s+} é o limite superior e H_{s-} é o limite inferior de H_s . Esses autores abordaram o exemplo do *linguistic term set* $S = \{\text{nada, muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto, perfeito}\}$ e de $H_s = \{\text{alto, muito alto, perfeito}\}$ um dado

HFLTS de S. O envoltório de H_s é obtido por meio de H_{s-} (alto, muito alto, perfeito) = alto e H_{s+} (alto, muito alto, perfeito) = perfeito. Com isso, $\text{env}(H_s) = [\text{alto}, \text{perfeito}]$ (Rodríguez; Martínez; Herrera, 2012).

2.4.4 Grau De Satisfação De Uma Alternativa

Liao, Xu e Zeng (2014), com base no método TOPSIS, fizeram a proposta do uso das duas distâncias medidas simultaneamente, e não separadamente. Assim, o desempenho global de uma dada alternativa x_i , que leva em consideração a contribuição individual de todos os critérios, corresponde ao grau de satisfação $\eta(x_i)$. O grau de satisfação é obtido pela Equação 6 e normalizado pela Equação 7. Na Equação 6, θ é um parâmetro de risco e é ajustável dependendo da visão dos decisores envolvidos na solução do problema, sendo que $\theta > 0,5$ corresponde a uma visão pessimista do tomador de decisão enquanto $\theta < 0,5$ implica uma visão otimista. O resultado é normalizado pela equação 8 para a obtenção do peso final w_i

$$\eta(x_i) = \frac{(1-\theta)d(x_i, x^-)}{\theta d(x_i, x^+) + (1-\theta)d(x_i, x^-)} \quad (6)$$

$$v_i = \frac{\eta(x_i)}{\sum \eta(x_i)} \quad (7)$$

$$w_i = \frac{1}{\frac{\eta(x_i) - \underline{\eta(x_i)}}{1 + e^{-\frac{\eta(x_i) - \underline{\eta(x_i)}}{\sigma_{\eta(x_i)}}}} \quad (8)$$

Onde:

v_i – grau de satisfação normalizado;

η – grau de satisfação para o critério x_i ;

w_i - valor resultante da normalização;

$\underline{\eta(x_i)}$ - média simples dos valores a serem normalizados

σ - desvio padrão

2.4.5 Etapas Do Método HFLTS-QFD

Com base em Osiro *et al.* (2018), o método HFLTS-QFD é dividido em quatro etapas principais. Com isso, esta seção apresenta sucintamente as etapas para aplicação do método escolhido:

- i. **Etapas 1 - Determinação e avaliação dos requisitos:** os decisores selecionam o conjunto de requisitos na matriz “*what*”. Em seguida, eles avaliam a importância dos requisitos com base em termos e expressões linguísticos. Depois disso, os termos linguísticos são transformados em HFLTS. As equações 2, 4, 5 e 6 são usadas para obtenção do peso de cada requisito.
- ii. **Etapas 2- Determinação e avaliação dos critérios:** na matriz “*how*”, os decisores determinam uma lista de critérios relacionados aos requisitos selecionados preliminarmente. Em seguida, cada decisor avalia a intensidade de relacionamento entre critérios e requisitos, por meio do uso de termos e expressões linguísticos em seus julgamentos. As Equações 2, 4, 5 e 6 são usadas no cálculo do peso dos critérios.
- iii. **Etapas 3 - Escolha dos critérios:** avalia-se o grau de dificuldade dos decisores na coleta de dados que permitem a avaliação das alternativas em relação a cada uma das métricas. Portanto, a disponibilidade das informações, o número de pessoas e o tempo necessário para realizar a avaliação e o possível uso de algum outro recurso como a contratação de serviços terceirizados são considerados. Nessa etapa, os decisores irão apontar os seus julgamentos, fazendo novamente uso dos HFLTS e das Equações 2, 4, 5 e 6.

Porém, no atual trabalho, todos os critérios escolhidos no passo anterior serão usados na avaliação dos fornecedores, servindo de dados de entrada para o próximo passo.

- iv. **Etapas 4 - Avaliação e categorização dos fornecedores:** realiza-se a classificação e a seleção final da lista de métricas na matriz levando em consideração as saídas das Etapas 2 e 3, para então escolher os critérios a ser usados na avaliação das alternativas de fornecimento.

Na etapa iv, o presente estudo traz uma mudança em relação a avaliação do desempenho das alternativas de fornecimento. Foi aplicada a técnica HFLTS-VIKOR (abordada na seção 2.5 a seguir) no lugar dos procedimentos originalmente

propostos por Osiro *et al.* (2018). Vale ressaltar também que os critérios de avaliação e os pesos dos critérios definidos com base no HFLTS-QFD nas etapas anteriores serviram como entrada para o HFLTS-VIKOR. Além disso, os fornecedores foram avaliados nas duas dimensões de segmentação: “fatores intensificadores” da resiliência e “fatores redutores” da resiliência da cadeia de suprimento (Parkouhi *et al.*, 2019).

2.5. O MÉTODO HFLTS-VIKOR

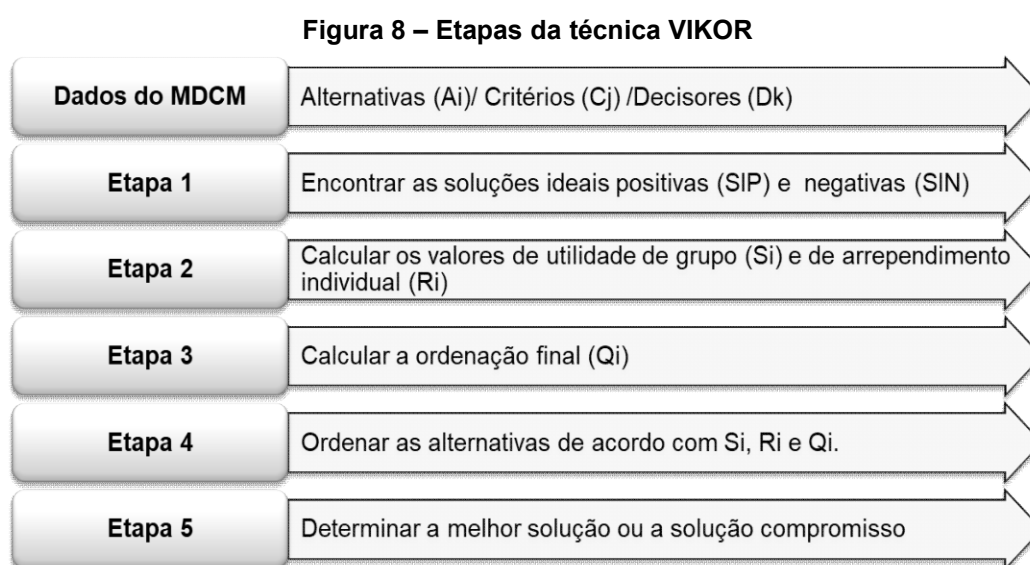
O VIKOR é uma técnica MCDM (*Multicriteria Decision-Making*). De acordo com Yazdani e Graeml (2014), o método VIKOR foi desenvolvido por Opricovic em 1990 para resolver problemas de decisão com critérios conflitantes. Esses mesmos autores, definiram o método VIKOR como sendo uma técnica para “a otimização com múltiplos critérios de decisão e solução de compromisso” (Yazdani; Graeml, 2014, p.57). Com isso, o método VIKOR é uma técnica que classifica as alternativas avaliadas e determina a solução de compromisso mais próxima da ideal (Opricovic; Tzeng, 2004). Portanto, o método em questão investiga a menor distância entre as soluções ideais e as alternativas avaliadas (Opricovic, 1998). Bongale *et al.* (2021) destacaram a limitação do método VIKOR: inflexível para mudar preferências de critérios para entender incerteza no comportamento do fornecedor (Bai; Rezaei; Sarkis, 2017). Portanto, esta técnica não permite o uso de escala de termos linguísticos para proporcionar a flexibilidade no apontamento dos julgamentos por parte dos decisores. Com isso, o aperfeiçoamento do VIKOR vem sendo alcançado por intermédio da combinação desse método com os conjuntos *Fuzzy* e suas extensões, trazendo maior flexibilidade aos decisores durante os processos de tomada de decisão devido ao uso de termos e expressões linguísticos nas avaliações. No presente trabalho, o HFLTS-VIKOR possibilitou o uso de termos e expressões linguísticos durante o processo de avaliação dos fornecedores, assim como o ranqueamento das alternativas em questão.

Zhang e Wei (2013) propuseram a primeira versão do *Hesitant Fuzzy* VIKOR. Outras versões foram propostas a partir dela, com base na alteração da maneira de realizar o cálculo das distâncias, de caracterizar os julgamentos ou de agrupar os pareceres dos decisores (Ahmad *et al.*, 2015; Geng *et al.*, 2020; Liao *et al.*, 2015).

Portanto, a presente seção encarrega-se de trazer uma explanação em relação à técnica VIKOR combinada com HFLTS e às etapas do PDHFLVIKOR proposto por Wu *et al.* (2019). O método PDHFLTS foi escolhido por considerar todas as avaliações dos decisores, incluindo as avaliações que se sobrepõem (Oliveira, 2022).

2.5.1 O Método VIKOR

A Figura 8 ilustra os passos do método VIKOR.



Fonte: Oliveira (2022, p. 67), baseado em Opricovic e Tzeng (2004).

Essa técnica engloba uma clara definição do problema de decisão (alternativas, critérios de decisão, quantidades de decisores, pesos dos critérios, entre outras informações necessárias para a solução do problema MCDM) seguida por cinco etapas matemáticas (Opricovic; Tzeng, 2004).

Uma matriz decisória sintetiza as avaliações das alternativas. A matriz em questão possui as alternativas avaliadas nas linhas e os critérios de decisão nas colunas. Em um problema multicritério tendo I alternativas a_i ($i = 1, 2, \dots, I$), as avaliações das alternativas em relação aos J critérios c_j ($j = 1, 2, \dots, J$) são dadas em termo de valores como f_{ij} ($i = 1, 2, \dots, I$ e $j = 1, 2, \dots, J$) dentro da matriz de decisão $D_{mxn} = [f_{ij}]$. Uma função L_p – métrica é desenvolvida para agregar as avaliações com base na Equação 9 (Liao; Xu, 2013).

$$L_{p,i} = \left(\sum_{j=1}^J \left(\omega_j \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \right)^p \right)^{\frac{1}{p}}, 1 \leq p \leq \infty, i = 1, 2, \dots, I \quad (9)$$

Onde ω_j ($j = 1, 2, \dots, J$) representam os pesos dos critérios j , f_j^+ a Solução Ideal Positiva (SIP), f_j^- a Solução Ideal Negativa (SIN) e p um parâmetro que define como os desvios considerados são ponderados ($p = 1$ para desvios ponderados da mesma maneira, $p = 2$ para desvios ponderados com base em suas magnitudes, $p = \infty$ em casos em que os desvios representam o arrependimento individual máximo. Estrategicamente, a técnica VIKOR usa $p = 1$ na formulação da utilidade do grupo, e $p = \infty$ no cálculo do arrependimento individual em relação ao oponente. Para ser considerada como sendo a melhor solução (a mais próximo da solução ideal), cada solução compromisso precisa minimizar simultaneamente a utilidade do grupo e o valor do arrependimento individual (Liao; Xu, 2013; Opricovic; Tzeng, 2004).

O processo de ordenação das alternativas baseado no VIKOR pode seguir as etapas propostas por Liao e Xu, (2013):

- ❖ Encontrar a SIP (f_i^+) pela Equação 10 e a SIN (f_i^-) pela Equação 11.

$$f_j^+ = \begin{cases} \max_{i=1, 2, \dots, I} f_{ij}^i, & \text{para critérios de benefício } c_j \\ \min_{i=1, 2, \dots, I} f_{ij}^i, & \text{para critérios de custo } c_j \end{cases} \quad (10)$$

$$f_j^- = \begin{cases} \min_{i=1, 2, \dots, I} f_{ij}^i, & \text{para critérios de benefício } c_j \\ \max_{i=1, 2, \dots, I} f_{ij}^i, & \text{para critérios de custo } c_j \end{cases} \quad (11)$$

- ❖ Realizar o cálculo do valor de utilidade de grupo (S_i) por intermédio da Equação 12, e o valor de arrependimento individual (R_i) em relação às alternativas avaliadas a_i ($i = 1, 2, \dots, I$) com o uso da Equação 13.

$$S_i = L_{1,i} = \sum_{j=1}^J \omega_j \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \quad (12)$$

$$R_i = L_{\infty,i} = \left(\omega_j \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \right); \quad (13)$$

- ❖ Realizar o cálculo da ordenação final $Q_i^\#$ ($i = 1, 2, \dots, I$), que minimiza simultaneamente S_i e R_i , de acordo com a Equação 14 (Liao; Xu, 2013; Opricovic; Tzeng, 2004).

$$Q_i = \vartheta \left(\frac{S - S_i}{S - S^*} \right) + (1 - \vartheta) \left(\frac{R - R_i}{R - R^*} \right) \quad (14)$$

Onde, $S^+ = S_i$, $S^- = S_i$, $R^+ = R_i$ e $R^- = R_i$. O ϑ corresponde ao peso estratégico da maioria dos critérios (ou da utilidade máxima do grupo): $\vartheta = 0,5$ é determinado considerando que o problema obteve consenso; para $\vartheta > 0,5$ Q tenderá à maioria de consenso; para $\vartheta < 0,5$, Q indicará uma atitude negativa da maioria. Além disso, a sensibilidade da solução pode ser analisada com base na variação de ϑ entre 0 e 1: menor valor de Q_i corresponde a melhor alternativa a_i .

- ❖ Realizar a ordenação crescente dos valores das alternativas $a^{(i)}$ ($i = 1, 2, \dots, I$), de acordo com os valores de S_i , de R_i e de Q_i , resultando em três classificações: $S = \{a_S^{(1)}, a_S^{(2)}, \dots, a_S^{(i)}\}$, $R = \{a_R^{(1)}, a_R^{(2)}, \dots, a_R^{(i)}\}$ e $Q = \{a_Q^{(1)}, a_Q^{(2)}, \dots, a_Q^{(i)}\}$.

- ❖ A atual etapa visa a determinação da solução compromisso. Duas condições devem ser simultaneamente satisfeitas para que a solução em questão seja constituída unicamente pela alternativa com a melhor classificação:

- a) “Vantagem aceitável”: essa condição é atendida pela satisfação da Equação 15.

$$a_Q^{(2)} - a_Q^{(1)} \geq \frac{1}{I-1}, \quad (15)$$

Onde, $a_Q^{(1)}$ e $a_Q^{(2)}$ representam as alternativas que ocuparam o primeiro lugar e o segundo lugar respectivamente na ordenação de Q , e I corresponde à quantidade de alternativas;

- b) “Estabilidade aceitável na tomada de decisão”: a melhor alternativa baseada em Q precisa também ser a melhor alternativa em S e/ou em R (Opricovic; Tzeng, 2004).

Porém, não dá para garantir sempre a satisfação simultânea dessas duas condições. Em caso de insatisfação de uma das duas condições, um conjunto de solução compromisso composto por mais de um elemento é derivado. Quando há apenas a insatisfação da condição “b”, tanto $a^{(1)}$ quanto $a^{(2)}$ irão compor a solução compromisso. Quando há insatisfação da condição “a”, as alternativas $a^{(1)}, a^{(2)}, \dots, a^{(M)}$ que satisfaçam a Equação 16 irão compor a solução compromisso (Liao; Xu, 2015).

$$A_Q^{(M)} - a_Q^{(1)} < \frac{1}{I-1}, \quad (16)$$

Onde $a_Q^{(M)}$ representa a alternativa a testar com M correspondendo à posição de ordenação dessa alternativa em Q .

O método VIKOR combinado com HFLTS visando o seu aperfeiçoamento, é uma abordagem que possibilita o uso de expressões e termos linguísticos em caso de informações incompletas e imprecisas na solução de problemas MCDM. A seguir, as etapas do método HFLTS-VIKOR são apresentadas.

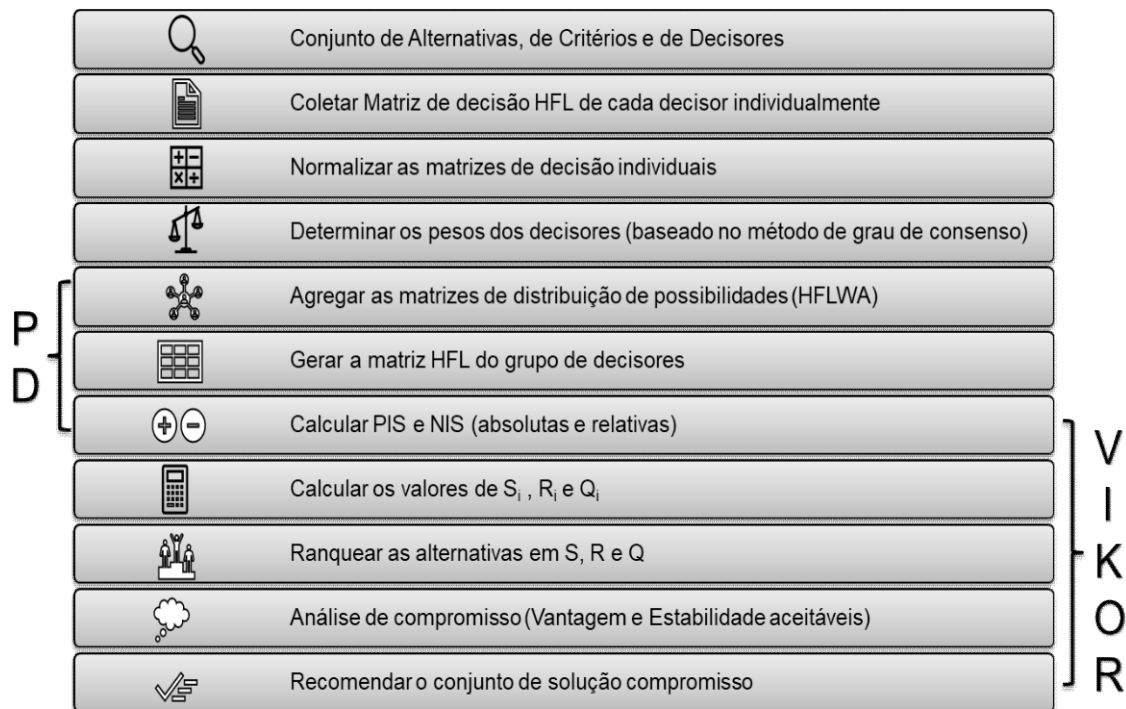
2.5.2 Etapas do método HFLTS-VIKOR

A técnica PDHFLVIKOR (*Possibility Distribution of Hesitant Fuzzy Linguistic VIKOR*) foi proposta por Wu *et al.* (2019). Esse método utiliza os conceitos da abordagem HFLTS (Rodríguez *et al.*, 2012). Além disso, o método em questão coleta individualmente os julgamentos dos decisores por intermédio de expressões linguísticas para avaliar as alternativas baseado nos critérios de decisão. No trabalho de Wu *et al.* (2019), os pesos dos critérios de decisão foram avaliados usando as expressões linguísticas transformadas em números *Fuzzy* triangulares que foram depois defuzzificados. Porém, no presente trabalho, os pesos dos critérios para avaliar as alternativas de fornecimento serão determinados por intermédio do método HFLTS- QFD. Para detalhes mais aprofundados, recomenda-se a leitura do artigo de Wu *et al.* (2019).

As informações das avaliações por parte dos decisores são organizadas em matrizes de decisão individuais. Com isso, é feito o cálculo das distâncias geodésicas entre os decisores visando a definição do peso global de cada decisor, ou a determinação do peso de cada decisor por alternativa. Além disso, as matrizes decisórias individuais são calculadas envolvendo distribuição de possibilidades referentes a cada um dos HFLTS (PDHFLTS). HFLWA (*Hesitant Fuzzy Linguistic Weighted Average*) é uma das funções de agrupamento das matrizes DPHFLTS, usada para normalizar as matrizes com o peso dos decisores e gerar uma única matriz HFLWA. Por meio da matriz HFLWA, a média e a variância são encontrados para cada um dos seus elementos a serem usados na determinação da Solução Ideal Positiva relativa e da Solução Ideal Negativa relativa (Equações 10 e 11,

respectivamente). As Equações 22 e 23 são usadas para encontrar a Solução Ideal Positiva absoluta e Solução Ideal Negativa absoluta. O cálculo da distância entre dois PDHFLTS é realizado com base nas médias das matrizes PDHFLTS, da SIP e da SIN. Duas ordenações finais referentes às alternativas são encontradas: uma ordenação de acordo com a SIP e a SIN relativas e a outra usando a SIP e a SIN absolutas. A Figura 9 mostra as etapas desta técnica.

Figura 9 – Etapas da técnica DPHFVIKOR



Fonte: Oliveira (2022, p. 92).

Com isso, uma clara definição do problema de decisão e a aplicação do HFL-VIKOR com distribuição de possibilidades são os principais passos. Portanto, com base em Wu *et al.* (2019), algumas definições necessárias para a implementação dessa técnica são apresentadas a seguir:

- a) A distância geodésica entre dois HFLTS $H_s^1 = \{h_{i1}, ..., h_{j1}\}$ e $H_s^2 = \{h_{i2}, ..., h_{j2}\}$ é dada por:

$$d_{geo}(H_s^1, H_s^2) = d_{geo}(\{h_{i1}, ..., h_{j1}\}, \{h_{i2}, ..., h_{j2}\}) = |i1 - i2| + |j1 - j2| \quad (17)$$

Os pesos dos decisores podem ser encontrados a partir da Equação 17. Além disso, os pesos globais dos decisores são normalizados pela Equação 18.

$$\lambda_k = \frac{GCI_k}{\sum_{l=1}^k GCI_l} \quad (18)$$

onde k representa a quantidade decisores. GCI_k é encontrado pela equação 19.

$$GCI_k = \sum_{l=1, l \neq k}^t \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{\text{geo}}(H_l^1, H_k^2) \quad (19)$$

Na equação 19, l e k se referem aos decisores, i representa a quantidade das alternativas do problema estudado e j a quantidade dos critérios de avaliação.

No presente trabalho, os decisores foram considerados de igual importância. Com isso, não foi necessário avaliar os pesos dos decisores.

b) Sejam $S = \{s_1, s_2, \dots, s_g\}$ um conjunto de expressões linguísticas e $H_s^1 = \{s_L, s_{L+1}, \dots, s_U\}$ um HFLTS em S , a distribuição de possibilidade referente a H_s^1 em S é $P = (p_0, p_1, \dots, p_l, \dots, p_g)$, onde p_l representa a possibilidade que a alternativa tem em uma avaliação s_l , tal que $\sum_{l=L}^U p_l = \sum_{l=0}^g p_l = 1$ e $0 \leq p_l \leq 1$, $l = 0, 1, \dots, g$. Para a distribuição de possibilidade, fez-se uso da Equação 20, como descrita abaixo:

$$p_l = \begin{cases} 0 & l = 0, 1, \dots, L-1, \\ 1 & l = L, L+1, \dots, U, \\ \frac{U-L+1}{U-L+1} & l = U+1, \dots, g \end{cases} \quad (20)$$

c) Sejam $S = \{s_1, s_2, \dots, s_g\}$ um conjunto de expressões linguísticas e $A_H = \{H_1, \dots, H_n\}$ um conjunto PDHFLTS, onde $\omega = \{\omega_1, \dots, \omega_n\}$ é o vetor de peso que satisfaz $0 \leq \omega_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$. Cada H_k tem a sua distribuição de probabilidade representada por $P^k = (p_0^k, \dots, p_l^k, \dots, p_g^k)$. O operador HFLWA (*Hesitant Fuzzy Linguistic Weighted Average*) é determinado pela distribuição de possibilidade $P = (p_0, \dots, p_l, \dots, p_g)$ em S :

$$HFLWA(H_1, \dots, H_n) = HFLWA(P^1, \dots, P^n) \triangleq HFLWA(p_0, \dots, p_l, \dots, p_g) \quad (21)$$

tendo $p_l = \sum_{k=1}^n \omega_k p_l^k$. Além disso, cada p_l corresponde à possibilidade em que $s_l \in S$ seja usado como valor de avaliação atribuído pelo grupo.

- d) A definição das soluções ideais positivas (SIP) e negativas (SIN) absolutas dependem do conjunto de termos linguísticos envolvidos. Dados $S = \{s_1, s_2, \dots, s_g\}$ um conjunto de termos linguísticos e m a quantidade de critérios de avaliação escolhidos, as soluções ideais positivas e negativas absolutas podem ser definidas através das equações 22 e 23.

$$SIP_j = \{s_g\}, j = 1, 2, \dots, m \quad (22)$$

$$SIN_j = \{s_0\}, j = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

$SIP_j = \{s_g\}, j = 1, 2, \dots, m$; onde $NS(s_l)$ representa a escala numérica referente ao termo linguístico s_l .

- e) Sejam $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ um conjunto de expressões linguísticas e $\vartheta \in H_S$. A distribuição de possibilidade referente a ϑ é $P = (p_0, \dots, p_l, \dots, p_g)$. P indica uma média conhecida como valor esperado para ϑ . A média em questão é encontrada pela Equação 24.

$$E(\vartheta) = \sum_{l=0}^g NS(s_l)p_l \quad (24)$$

onde $NS(s_l)$ corresponde à escala numérica para a expressão linguística s_l .

- f) Sejam S , ϑ , P e $NS(s_l)$ preliminarmente descritos, a variância para ϑ indicada por P encontrado pela Equação 25.

$$Var(\vartheta) = \sum_{l=0}^g (NS(s_l) - E(\vartheta))^2 p_l \quad (25)$$

onde $NS(s_l)$ corresponde à escala numérica referente à expressão linguística s_l .

- g) O conjunto S dos termos linguísticos, ϑ , η e os HFLTS entram na abordagem da distância entre dois PDHFLTS. Sejam $P = (p_0, \dots, p_l, \dots, p_g)$ a distribuição de possibilidades para ϑ e $Q = (q_0, \dots, q_l, \dots, q_g)$ a distribuição de possibilidades para η . Com base em P e Q , a distância entre ϑ e η é encontrada pela Equação 26.

$$d_{pd}(\vartheta, \eta) = \frac{1}{g} |E(\vartheta) - E(\eta)| = \frac{1}{g} \left| \sum_{l=0}^g NS(s_l) p_l - \sum_{l=0}^g NS(s_l) q_l \right| \quad 26$$

Onde $NS(s_l)$ corresponde à escala numérica referente ao termo linguístico s_l .

- h) É importante destacar que, com base em Wu *et al.* (2019), considerando o conjunto de expressões linguísticas $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ e o HFLTS $\vartheta = \{s_L, s_{L+1}, \dots, s_U\}$, a conversão de critérios de custo em critérios de benefício é realizada por intermédio do operador Neg , definido pela Equação 27. Isso deve ser feito antes da aplicação da equação 18.

$$Neg(\vartheta) = \{Neg(s_L), Neg(s_{L+1}), \dots, Neg(s_U)\} = \{s_U, \dots, s_{L+1}, s_L\} \quad 27$$

3 MÉTODO

O presente capítulo é dividido em duas partes principais e aborda os procedimentos metodológicos que compõem este estudo: as características da pesquisa, as etapas da pesquisa, os procedimentos para a coleta dos dados e a análise de dados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Bertrand e Fransoo (2002, p. 249) definiram a pesquisa axiomática normativa como sendo uma pesquisa que “tem como característica a obtenção de soluções dentro do modelo definido e garantir que essas soluções forneçam *insights* sobre a estrutura do problema”. Além disso, os modelos quantitativos se baseiam em parâmetros que variam dentro do domínio considerado, tendo relações quantitativas e causais definidas entre os parâmetros em questão (Bertrand; Fransoo, 2002).

Com base nessas afirmações, a atual pesquisa pode ser considerada como sendo uma investigação axiomática normativa, baseada em modelos quantitativos pois o mesmo propõe a avaliação da proposta de um modelo de apoio à tomada de decisão durante a segmentação de fornecedores resilientes dentro da cadeia de suprimentos.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Visando o alcance dos objetivos geral e específicos fixados na presente pesquisa, a mesma foi dividida nas seguintes etapas: mapeamento dos artigos científicos referentes aos modelos quantitativos usados na segmentação de fornecedores, construção do modelo ou modelagem, aplicação e análise de sensibilidade do modelo proposto com intermédio de um instrumento de coleta de dados (ler o Apêndice A para mais detalhes) previamente apresentado aos gestores da empresa participante a fim de fazer os ajustes necessários e garantir um bom

uso do formulário desenvolvido, além de apresentar uma etapa de análise dos resultados e conclusão.

A partir da proposta do modelo de apoio à tomada de decisão na segmentação de fornecedores, com base em HFLTSs combinados com QFD e VIKOR, um modelo computacional será desenvolvido através do *software Microsoft Excel*. O *Excel* foi escolhido pelo fato dele ser uma ferramenta bastante acessível no universo acadêmico e nas empresas, além de possibilitar uma aplicação simplificada e transparente. Os requisitos e os critérios de decisão para a avaliação das alternativas de fornecimento serão determinados por especialistas a partir de uma listagem extraída da literatura.

A avaliação dos fornecedores no presente trabalho será com base em dados de uma organização real onde o modelo será apenas testado. As informações necessárias sobre a empresa serão detalhadas no tópico “teste piloto”, envolvendo a descrição da mesma e a participação da equipe de decisores.

Os dados serão coletados fazendo uso de julgamentos linguísticos por parte de dois especialistas responsáveis pelas aquisições de suprimentos dentro da empresa escolhida. Esses decisores serão indicados pela própria empresa, podendo envolver funcionários de outros setores ligados à gestão de relacionamento com fornecedores. Os julgamentos dos decisores serão coletados por meio de um trabalho de campo e lançados em uma planilha eletrônica. Os detalhes referentes a aplicação do modelo proposto serão detalhados na Seção 4.

Após a aplicação do modelo proposto e descrito no capítulo 4, será realizada uma análise de sensibilidade por meio de uma planilha do programa computacional Excel, visando a validação do modelo em questão. Os testes para análise de sensibilidade consistem na alteração dos pesos dos critérios de avaliação das alternativas e dos parâmetros de riscos; na observação da coerência das respostas e da robustez do modelo proposto diante das perturbações induzidas.

Por último, na etapa de análise dos resultados e conclusão, serão examinados os benefícios e as limitações do modelo proposto. Além disso, algumas sugestões para futuros trabalhos serão apresentadas com base nas oportunidades de pesquisa identificadas.

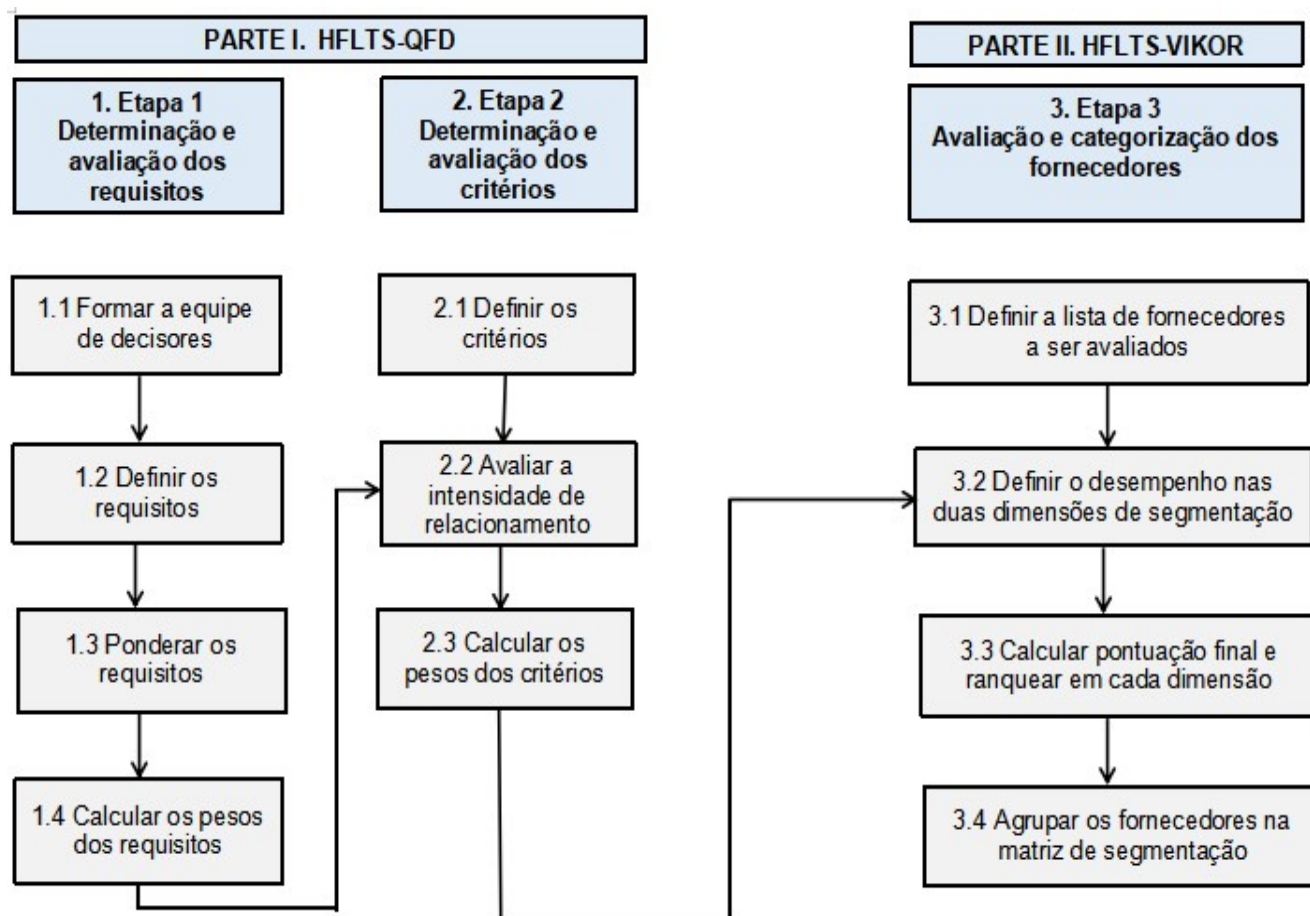
4 PROPOSTA DO MODELO PARA SEGMENTAÇÃO DE FORNECEDORES RESILIENTES

Essa seção apresenta o modelo teórico proposto para apoiar a segmentação de fornecedores resilientes. O modelo em questão foi concebido com base em HFLTSs combinados com QFD (Osiro *et al.*, 2018) para a definição e a ponderação dos critérios de decisão, e com base em HFLTS combinados com VIKOR (Wu *et al.*, 2019) para classificar os fornecedores. Além disso, as dimensões de segmentação consideradas foram os “fatores intensificadores” e os “fatores redutores” da resiliência dos fornecedores em cadeias de suprimentos (Parkouhi *et al.*, 2019).

O modelo apresentado na Figura 10 é composto por duas partes fundamentais relacionadas os métodos HFLTS-QFD (Etapas 1 e 2) e HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades (Etapa 3):

- i. A Etapa 1 consiste em selecionar e ponderar os requisitos de resiliência dos fornecedores, baseado nos julgamentos dos decisores; os requisitos de resiliência se referem as capacidades de resiliência desejadas pelos gestores das cadeias de suprimentos (Brown, 2017);
- ii. A Etapa 2 consiste em determinar os critérios de avaliação dos fornecedores de acordo com os requisitos de resiliência selecionados na Etapa 1 e ponderá-los baseado na intensidade de seu relacionamento com cada requisito. Os critérios de decisão se referem aos fatores “intensificadores de resiliência” e “redutores de de resiliência” dos fornecedores (Parkouhi *et al.*, 2019). Nas Etapas 1 e 2, os decisores deverão levar em consideração as características da cadeia de fornecimento resiliente;
- iii. A Etapa 3 consiste em definir as alternativas de suprimentos existentes, sendo então realizada a avaliação do desempenho das alternativas, o que irá resultar na pontuação final e com o ranqueamento dos fornecedores avaliados em cada dimensão de segmentação. Por fim, os fornecedores avaliados são segmentados em quatro grupos específicos dentro da cadeia de fornecimento.

Figura 10 – Modelo proposto para segmentação de fornecedores



Fonte: Baseado em Osiro *et al.* (2018).

A Etapa 1 começa com a escolha dos decisores, que são especialistas envolvidos no processo de aquisição de suprimentos e de gestão de relacionamentos com os fornecedores. Com base na literatura e no histórico de fornecimento, os decisores escolhem um conjunto de requisitos esperados de um fornecedor resiliente. Os julgamentos dos decisores são ponderados e a soma dos valores deve ser igual a 1.

Com base em Brown (2017), Gokler e Boran (2023), Wissuwa *et al.* (2022) e Nazari *et al.* (2023), o Quadro 3 mostra os requisitos iniciais, podendo sofrer ajuste por parte dos decisores de acordo com as necessidades da empresa participante do estudo.

Quadro 3 - Lista dos requisitos de resiliência dos fornecedores

Requisitos de resiliência dos fornecedores			
()	Visibilidade	()	Colaboração
()	Análise de dados	()	Treinamento e aprendizado
()	Desenvolvimento de fornecedores	()	Redundância
()	Estrutura	()	Flexibilidade
()	Velocidade	()	Agilidade
()	Planejamento de continuidade de negócios	()	Gestão de inventário
()	Poder e dependência	()	

Fonte: Autoria própria (2024).

Uma vez selecionado o conjunto de requisitos, cada decisor irá avaliar a importância dos requisitos selecionados por meio dos julgamentos linguísticos da Figura 6 (Rodriguez *et al.*, 2012). Os Quadros 2 e 6 exemplificam os julgamentos em questão representados na forma de expressões linguísticas. A SIP é obtida pela Equação 4 e a SIN é dada pela Equação 5. As distâncias da avaliação de cada requisito da SIP e da SIN são encontradas pela Equação 2. Na determinação dos pesos dos requisitos, cada grau de satisfação é encontrado pela Equação 6 e normalizado pela Equação 7.

Na Etapa 2, os decisores listam os critérios da resiliência em cada dimensão de segmentação, baseado em Parkouhi *et al.* (2019). Os critérios que favorecem a

resiliência são detalhados no Quadro 4, definindo então a dimensão de segmentação “fatores intensificadores de resiliência”.

Quadro 4 - Lista dos fatores intensificadores de resiliência dos fornecedores

Fatores intensificadores de resiliência dos fornecedores			
()	Lead Time de Pedidos	()	Proximidade de Relacionamento
()	Customização	()	Variação de Preço
()	Flexibilidade de Processos	()	Visibilidade
()	Yield Rate	()	Segurança
()	Sentimento de Confiança,	()	Controles e Programas Ambientais
()	Atitude Gerencial para o Futuro	()	
()	Nível de Colaboração	()	

Fonte: Autoria própria (2024).

Os critérios que prejudicam a resiliência são detalhados no Quadro 5, definindo então a dimensão de segmentação “redutores de resiliência”.

Quadro 5 - Lista dos fatores redutores de resiliência dos fornecedores

Fatores redutores de resiliência dos fornecedores			
()	Limite de Capacidade	()	Histórico de Mau Desempenho e Reputação
()	Tempo para formar o relacionamento	()	Risco Financeiro
()	Dificuldades de Aquisição de Matéria-Prima	()	Poder de Negociação
()	Custo do Frete	()	Vulnerabilidade
()	Vulnerabilidade	()	

Fonte: Autoria própria (2024).

Depois da escolha dos critérios iniciais, os decisores avaliam individualmente a intensidade de relacionamento entre cada critério e cada requisito usando as Tabelas 8 e 9, por meio de julgamentos linguísticos exemplificados na Figura 6 e nos

Quadros 2 e 6. O peso de cada critério é também encontrado pelo cálculo da distância da SIP e da sua SIN por meio das Equações 2, 4 e 5.

Os pesos dos requisitos encontrados na primeira etapa são dados de entrada usados na Equação 2. Em seguida, O grau de satisfação é dado pela Equação 6 e normalizado pela Equação 7.

Tabela 8 - Intensidade de relacionamento entre requisitos e critérios da dimensão intensificadores de resiliência

Intensidade de Relacionamento entre Requisitos e Critérios				
Critérios escolhidos	Requisitos de resiliência de fornecimento			
	1-Visibilidade	2-Análise de dados	(...)	n-Gestão de inventário
<i>Lead Time</i> de Pedidos ()				
Customização ()				
Flexibilidade de Processos ()				
<i>Yield Rate</i> ()				
Sentimento de Confiança ()				
Atitude Gerencial para o Futuro ()				
Nível de Colaboração ()				
Proximidade de Relacionamento ()				
Variação de Preço ()				
Visibilidade ()				
Segurança ()				
Controles e Programas Ambientais ()				

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 9 - Intensidade de relacionamento entre requisitos e critérios da dimensão redutores de resiliência

Intensidade de Relacionamento entre Requisitos e Critérios				
Critérios escolhidos	Requisitos de resiliência de fornecimento			
	1-Visibilidade	2-Análise de dados	(...)	n-Gestão de inventário
Limite de Capacidade ()				
Tempo para formar o relacionamento ()				
Dificuldades de Aquisição de Matéria-Prima ()				
Custo do Frete ()				
Vulnerabilidade ()				
Histórico de Mau Desempenho e Reputação ()				
Risco Financeiro ()				
Poder de Negociação ()				
Vulnerabilidade ()				

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Etapa 3, todos os critérios escolhidos na Etapa 2 serão usados na avaliação do desempenho global dos fornecedores. Com isso, os pesos dos critérios em questão são reconduzidos na Etapa 3 para servir de dados de entrada na avaliação das alternativas de fornecimento.

Além disso, com base no método HFLTS-VIKOR (Wu *et al.*, 2019), a Etapa 3 se encarrega da definição, da avaliação e da segmentação dos fornecedores. Após a indicação das alternativas consideradas, os decisores avaliam em cada dimensão de segmentação o desempenho de cada alternativa em relação aos critérios escolhidos na Etapa 2 junto com os seus respectivos pesos encontrados na etapa em questão. Portanto, as Tabelas 10 e 11 devem ser preenchidas pelos decisores através dos julgamentos linguísticos mostrados na Figura 6 e nos Quadros 2 e 6.

Tabela 10 - Atribuição de julgamentos linguísticos para os fornecedores na dimensão "intensificadores de resiliência"

Desempenho dos fornecedores_Dimensão "intensificadores de resiliência"						
Critérios escolhidos	Julgamentos linguísticos em relação aos fornecedores					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Lead Time de Pedidos ()						
Customização ()						
Flexibilidade de Processos ()						
Yield Rate ()						
Sentimento de Confiança ()						
Atitude Gerencial para o Futuro ()						
Nível de Colaboração ()						
Proximidade de Relacionamento ()						
Variação de Preço ()						
Visibilidade ()						
Segurança ()						
Controles e Programas Ambientais ()						

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 11 - Atribuição de julgamentos linguísticos para os fornecedores na dimensão "redutores de resiliência"

Desempenho dos fornecedores_Dimensão "redutores de resiliência"						
Critérios escolhidos	Julgamentos linguísticos em relação aos fornecedores					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Limite de Capacidade ()						
Tempo para formar o relacionamento ()						
Dificuldades de Aquisição de Matéria-Prima ()						
Custo do Frete ()						
Vulnerabilidade ()						
Histórico de Mau Desempenho e Reputação ()						
Risco Financeiro ()						
Poder de Negociação ()						
Vulnerabilidade ()						

Fonte: Autoria própria (2024).

A seção 2.5.2 se encarregou de apresentar detalhadamente as etapas do método HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades. O Quadro 6 apresenta resumidamente as expressões e os termos linguísticos, a representação HFLTS para avaliação dos fornecedores.

Uma vez montada a matriz de decisão agregada, a aplicação da técnica PDHFLVIKOR pode ser iniciada (cálculos da média e da variância dos elementos da matriz HFLWA; cálculo das soluções ideais positivas e negativas relativas e absolutas; ordenação dos resultados; cálculos dos valores da utilidade de grupo e do arrependimento individual sobre as alternativas; cálculo dos valores de Q_i ; ordenação das alternativas e determinação da melhor solução).

Uma ordenação final das alternativas é obtida de acordo com as SIP e SIN relativas e uma outra ordenação é obtida usando as SIP e SIN absolutas em cada dimensão de segmentação. Com base na ordenação final escolhida, os fornecedores são posicionados dentro da matriz de segmentação. O posicionamento dos fornecedores é feito com base nos fatores que favorecem a resiliência e nos fatores que reduzem a resiliência dos fornecedores avaliados (Parkouhi *et al.*, 2019) dentro da cadeia de fornecimento, resultando em quatro grupos de fornecimento conforme ilustrado na Figura 2. Por tanto, cada fornecedor é classificado dentro de um quadrante da matriz de segmentação. Essa identificação auxilia a estruturação de programas e políticas para desenvolvimento de fornecedores (Borges *et al.*, 2022).

Quadro 6 – Julgamentos linguísticos e representação HFLTS para avaliar as alternativas

Julgamentos linguísticos utilizados na aplicação real	Abreviação	Representação usada no HFLTS-VIKOR (Rodriguez <i>et al.</i>, 2012)
Nenhum (ou Nulo)	N	s_0
Muito baixo	MB	s
Baixo	B	s
Médio	M	s
Alto	A	s

Muito alto	MA	s_5
Absoluto	AB	s_6
Entre muito alto e absoluto	Entre MA e AB	s_5, s_6
Entre médio e alto	Entre M e A	s_3, s_4
Entre alto e muito alto	Entre A e MA	s_4, s_5
Entre muito alto e absoluto	Entre MA e AB	s_5, s_6
Entre baixo e médio	Entre B e M	s_2, s_3

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

5 APLICAÇÃO PILOTO

5.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA PARTICIPANTE

A empresa participante do projeto de pesquisa onde foi feita a coleta de dados atua na indústria automotiva na região metropolitana de Curitiba e faz parte de um grupo global com mais 165000 funcionários em mais de quarenta e um países. Ela fornece produtos de alta qualidade. Os principais produtos fabricados na unidade participante da pesquisa são espelhos retrovisores externos, chicotes elétricos e módulos de polímero.

Além disso, a unidade participante conta com 400 colaboradores e tem uma cultura de gestão de fornecedores muito bem estruturada, contribuindo com o sucesso dos seus clientes. O setor de compras é responsável pela seleção dos fornecedores de acordo com os requisitos técnicos exigidos pela área técnica da empresa. Os fornecedores escolhidos são desenvolvidos e acompanhados pela equipe de Engenharia da qualidade dos fornecedores. Os fornecedores aprovados passam a ter os seus contratados efetivos para a vida série. Durante o processo de validação dos fornecedores em questão, o setor de compras é responsável pela aquisição de material necessário em lotes fechados. Depois da aprovação dos fornecedores, o setor de Logística passa a fazer compras diretamente com os mesmos. Com isso, a unidade de pesquisa lida atualmente com 65 fornecedores, sendo que 60 deles são fornecedores locais.

5.2 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

No item anterior, foi apresentada a empresa onde ocorreu a coleta de dados a serem usados na aplicação do modelo proposto e com base no Apêndice A disponibilizado no final do presente trabalho para mais detalhes. Com isso, a aplicação do modelo quantitativo proposto baseia-se em uma aplicação real. Além disso, com base nas Equações matemáticas 1 a 27 apresentadas na seção do referencial teórico, uma construção matemática do modelo foi desenvolvida e a sua

implementação computacional foi realizada fazendo uso do *software Microsoft Excel*. Com isso, seguindo os passos preconizados pelo modelo proposto na Figura 10, a ferramenta *Excel* apoiou nos cálculos necessários para a definição dos pesos dos requisitos, dos pesos dos critérios de avaliação dos fornecedores e na avaliação do desempenho global dos fornecedores em questão nas duas dimensões de segmentação escolhidas.

5.2.1 DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS

Com base no item 1.1 da Figura 10, a Etapa 1 começa com a escolha dos decisores. Com isso, dois funcionários com igual importância nas avaliações a ser realizadas foram escolhidos pela empresa para compor a equipe de decisores. Por motivo de confidencialidade, os decisores em questão foram chamados de *Decision Maker 1* (DM1) e *Decision Maker 2* (DM2). Os dois decisores são do Setor de Qualidade da empresa, tendo o DM1 como Supervisor com 16 meses no cargo e o DM2 como Coordenador com 18 meses no cargo. Além disso, um formulário de pesquisa (Apêndice A) foi disponibilizado para os decisores a fim de viabilizar a coleta de dados necessários para o presente trabalho.

Com base no item 1.2 da Figura 10 e no Quadro 3 que contém os requisitos iniciais a ser escolhidos, a equipe de decisores escolheu cinco requisitos de resiliência: Velocidade (R1), Flexibilidade (R2), Histórico (R3) de desempenho, Qualidade (R4) e Pontualidade de entrega (R5).

Com base no item 1.3 da Figura 10, a Tabela 12 mostra as avaliações da importância dos requisitos de resiliência realizadas pelos decisores usando as abreviações dos julgamentos linguísticos. Além disso, a codificação dos termos linguísticos mostrada nas Tabelas 12 e 13 foi necessária para auxiliar no cálculo das distâncias desejadas. Como isso, foi usada a escala com índices “-3” para Nulo, “-2” para Muito baixo, “-1” para Baixo, “0” para Médio, “1” para Alto, “2” para Muito Alto e “3” para Absoluto respectivamente. Em termos de envoltórios, os limites variam entre “-3” e “3”. Portanto, “ s_p ” e “ s_q ” correspondem aos valores limites de um dado envoltório, em que “p” é o índice do limite inferior e “q” é o índice do limite superior.

Tabela 12 - Julgamentos da importância dos requisitos

Requisitos	DM1	DM1- Envoltório da conversão em HFLTS	DM2	DM2 - Envoltório da conversão em HFLTS
R1	MA (Muito alto)	[2;2]	A (Alto)	[1;1]
R2	A (Alto)	[1;1]	MA (Muito alto)	[2;2]
R3	A (Alto)	[1;1]	A (Alto)	[1;1]
R4	MA (Muito alto)	[2;2]	A (Alto)	[1;1]
R5	MA (Muito alto)	[2;2]	MA (Muito alto)	[2;2]

Fonte: Autoria própria (2024).

Com base no item 1.4 da Figura 10, considerando que os decisores têm o mesmo peso na tomada de decisão, a Tabela 13 mostra os termos linguísticos ativados e a definição das SIP e SIN absolutas em termos de envoltórios.

Tabela 13 - Termos linguísticos ativados na avaliação dos requisitos

DMs	DM1							DM2						
Índice	-3	-2	-1	0	1	2	3	-3	-2	-1	0	1	2	3
R1						1						1		
R2					1								1	
R3					1							1		
R4						1						1		
R5						1							1	
Envoltórios das Soluções ideais positiva e negativa absolutas														
SIP							[3,3]							
NIS							[-3,-3]							

Fonte: Autoria própria (2024).

A SIP é obtida pela Equação 4 e a SIN é dada pela Equação 5. Como pode ser observado na escala em questão, a solução ideal positiva absoluta tem como

envoltório [3;3]. Da mesma forma, a solução ideal negativa absoluta corresponde ao envoltório [-3;-3] para garantir a validação de alguns cálculos intermediários de distâncias para todas as possibilidades.

Com base na Tabela 13, os requisitos avaliados apresentam os envoltórios [2, 2] para R1, [1, 1] para R2, [1, 1] para R3, [2, 2] para R4 e [2, 2] para R5. Além disso, as distâncias da avaliação de cada requisito da SIP e da SIN foram encontradas pela Equação 2. Na determinação dos pesos dos requisitos, cada grau de satisfação foi encontrado pela Equação 6 e normalizado pela equação 7. Com isso, fixando $\lambda = 2$ (parâmetro de distância Euclidiana) e $\theta = 0.5$ (parâmetro de risco para cenário neutro). A Tabela 14 mostra os resultados da definição dos pesos dos requisitos.

Tabela 14 - Resultado do cálculo dos pesos dos requisitos

Requisitos	Distância positiva	Distância negativa	Grau de satisfação	Peso do requisito
Velocidade (R1)	0,2259	0,6468	0,7412	0,20
Flexibilidade (R2)	0,2259	0,6468	0,7412	0,20
Histórico de desempenho (R3)	0,2857	0,5714	0,6667	0,18
Qualidade (R4)	0,2259	0,6468	0,7412	0,20
Pontualidade de entrega (R5)	0,1429	0,7143	0,8333	0,22

Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com os julgamentos apontados, os resultados mostram que a Pontualidade de entrega é o requisito de maior peso (0,22), enquanto o Histórico de desempenho representa o requisito de menor peso (0,18). Os requisitos Velocidade, Flexibilidade e Qualidade estão com o mesmo peso (0,20), representando igual importância no processo decisório. Por se tratar de uma empresa inserida na indústria automobilística, a Pontualidade de entrega de peças de montagem é um requisito importante para evitar paradas ou perturbações das linhas de produção. Além disso, há um compromisso real da empresa em manter a qualidade dos seus produtos, contribuindo para a garantia da satisfação dos seus clientes.

5.2.2 DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Com base no item 2.1 da Figura 10 e no Quadro 4 que contém os critérios iniciais a ser escolhidos na dimensão dos intensificadores de resiliência, os decisores escolheram quatro critérios *Lead Time* de pedidos (C1), Nível de colaboração (C2), Segurança (C3) e Capacidade de resposta (C4). Além disso, com base no Quadro 5 que contém os critérios iniciais a ser escolhidos na dimensão redutora de resiliência, dois critérios foram escolhidos Custo do frete (C5) e Poder de negociação (C6).

Com base no item 2.2 da Figura 10, o Quadro 7 mostra as avaliações da intensidade de relacionamento entre os requisitos e os critérios da dimensão “intensificadores de resiliência”.

Quadro 7 - Julgamentos da intensidade de relacionamento na dimensão dos intensificadores

DMs	Critérios	Requisitos				
		R1	R2	R3	R4	R5
DM1	C1	Alto	Entre médio e alto	Médio	Alto	Alto
	C2	Entre Médio e Alto	Médio	Alto	Alto	Entre alto e muito alto
	C3	Alto	Baixo	Alto	Entre alto e muito alto	Alto
	C4	Entre médio e alto	Alto	Médio	Alto	Alto
DM2	C1	Muito Alto	Alto	Médio	Muito Alto	Alto
	C2	Médio	Alto	Alto	Alto	Entre médio e alto
	C3	Muito Alto	Médio	Alto	Entre alto e muito alto	Alto
	C4	Médio	Muito Alto	Médio	Alto	Muito Alto

Fonte: Autoria própria (2024).

A Tabela 15 mostra o resultado da conversão dos julgamentos linguísticos coletados em HFLTS.

Tabela 15 - Envolvimentos dos julgamentos em HFLTS da intensidade de relacionamento na dimensão dos intensificadores

DMs	Critérios	Requisitos				
		R1	R2	R3	R4	R5
DM1	C1	[1;1]	[0;1]	[0;0]	[1;1]	[1;1]
	C2	[0;1]	[0;0]	[1;1]	[1;1]	[1, 2]
	C3	[1;1]	[-1;-1]	[1;1]	[1;2]	[1;1]
	C4	[0;1]	[1;1]	[0;0]	[1;1]	[1;1]
DM2	C1	[2;2]	[1;1]	[0;0]	[2;2]	[1;1]
	C2	[0;0]	[1;1]	[1;1]	[1;1]	[0;1]
	C3	[2;2]	[0;0]	[1;1]	[1, 2]	[1;1]
	C4	[0;0]	[2;2]	[0;0]	[1;1]	[2;2]

Fonte: Autoria própria (2024).

Por sua vez, o Quadro 8 mostra as avaliações da intensidade de relacionamento entre os requisitos e os critérios da dimensão redutora de resiliência.

Quadro 8 - Julgamentos da intensidade de relacionamento na dimensão dos redutores

DMs	Critérios	Requisitos				
		R1	R2	R3	R4	R5
DM1	C5	Médio	Alto	Entre médio e alto	Baixo	Alto
	C6	Baixo	Entre baixo e médio	Médio	Médio	Entre muito baixo e baixo
DM2	C5	Alto	Alto	Entre médio e alto	Médio	Alto
	C6	Médio	Entre baixo e médio	Médio	Alto	Alto

Fonte: Autoria própria (2024).

Da mesma forma, a Tabela 16 mostra o resultado da conversão dos julgamentos linguísticos coletados em HFLTS da dimensão redutora de resiliência.

Tabela 16- Envoltórios dos julgamentos em HFLTS da intensidade de relacionamento na dimensão dos redutores

Decisores	Critérios	Requisitos				
		R1	R2	R3	R4	R5
DM1	C5	[0;0]	[1;1]	[0;1]	[-1;-1]	[1;1]
	C6	[-1;-1]	[-1;1]	[0;0]	[1;1]	[-2,-2]
DM2	C5	[1;1]	[1;1]	[0;1]	[0;0]	[1;1]
	C6	[0;0]	[-1, 0]	[0;0]	[1;1]	[1;1]

Fonte: Autoria própria (2024).

Com base no item 2.3 da Figura 10, nas duas bases de segmentação dos fornecedores, a partir das Tabelas 15 e 16 mostrando as avaliações da intensidade de relacionamento entre os requisitos e critérios de avaliação dos fornecedores, foi feita uma agregação de julgamentos dos decisores em cada uma das bases de segmentação para viabilizar a aplicação do método HFLTS-QFD referente ao cálculo dos pesos dos critérios.

A Tabela 17 mostra em termos de envoltórios dos HFLTS a agregação de julgamentos dos decisores referente à ativação dos termos linguísticos codificados.

Tabela 17 - Integração de julgamentos dos intensificadores de resiliência

Critérios	Requisitos									
	R1		R2		R3		R4		R5	
	S _p	S _q	S _p	S _q	S _p	S _q	S _p	S _q	S _p	S _q
C1	1	2	1	1	0	0	1	2	1	1
C2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
C3	1	2	-1	0	1	1	1	2	1	1
C4	0	0	1	2	0	0	1	1	1	2

Fonte: Autoria própria (2024).

Os termos linguísticos foram codificados entre “-3” e “3” conforme explanado anteriormente, em relação aos critérios da dimensão intensificadores de resiliência.

Após a agregação dos julgamentos dos decisores e a ativação dos termos linguísticos resultantes, a SIP absoluta foi definida igual a “3” e a SIN absoluta igual a “-3” para garantir a validação de alguns cálculos intermediários de distâncias, considerando todas as possibilidades. Com isso, fixando $\lambda = 2$ (parâmetro de distância Euclidiana) e $\theta = 0.5$ (parâmetro de risco em cenário neutro), o peso de cada critério é também encontrado pelo cálculo da distância da SIP e da sua SIN por meio das Equações (2), (4) e (5). Os pesos dos requisitos encontrados na primeira etapa são dados de entrada usados na Equação (2). Em seguida, O grau de satisfação é dado pela Equação (6) e normalizado pela Equação (7). A Tabela 18 mostra os resultados da definição dos pesos dos critérios da dimensão dos intensificadores de resiliência.

Tabela 18 - Resultado do cálculo dos pesos dos critérios intensificadores

Crítérios	Distância positiva	Distância negativa	Grau de satisfação	Peso do requisito
<i>Lead Time</i> de pedidos (C1)	0,296	0,581	0,662	0,26
Nível de colaboração (C2)	0,335	0,533	0,614	0,24
Segurança (C3)	0,322	0,570	0,639	0,25
Capacidade de resposta (C4)	0,328	0,558	0,630	0,25

Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com os julgamentos apontados, os resultados mostram literalmente o *Lead Time* de pedidos como sendo o critério de maior peso (0,26), enquanto o Nível de colaboração representa o critério de menor peso (0,24). Além disso, os critérios Segurança e Capacidade de resposta estão com o mesmo peso (0,25), representando igual importância no processo decisório. Com isso, a

importância do *Lead Time* de pedidos manifestada pelo interesse de fornecer produtos dentro do menor prazo possível é valorizada na avaliação do desempenho de fornecedores resilientes. Mas do ponto de vista prático, há de se considerar que os pesos estão bem equilibrados, mostrando que todos os critérios de avaliação são importantes no processo decisório de avaliação do desempenho global dos fornecedores.

Do mesmo modo, uma agregação de julgamentos dos decisores foi também feita. Com isso, a Tabela 19 mostra a agregação em questão referente à ativação dos termos linguísticos codificados entre “-3” e “3” conforme explanado anteriormente.

Tabela 19 - Agregação de julgamentos dos critérios redutores de resiliência

Critérios	Requisitos									
	Velocidade		Flexibilidade		Histórico de desempenho		Qualidade		Pontualidade de entrega	
	S _p	S _q	S _p	S _q	S _p	S _q	S _p	S _q	S _p	S _q
C5	0	1	1	1	0	1	-1	0	1	1
C6	-1	0	-1	0	0	0	0	1	-1	1

Fonte: Autoria própria (2024).

Após a agregação dos julgamentos dos decisores, a SIP absoluta foi definida igual a [3,3] e a SIN absoluta igual a [-3,-3] de acordo com a escala escolhida, garantindo a validação de alguns cálculos intermediários de distâncias. Com isso, fixando novamente $\lambda = 2$ e $\theta = 0,5$, a Tabela 20 mostra o resultado da definição dos pesos dos critérios da dimensão dos redutores de resiliência.

Tabela 20 - Resultado do cálculo dos pesos dos redutores

Critérios	Distância positiva	Distância negativa	Grau de satisfação	Peso do critério
Custo do frete (C5)	0,511	0,368	0,419	0,45
Poder de negociação (C6)	0,425	0,453	0,516	0,55

Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com os julgamentos apontados pelos decisores, os resultados mostraram que o Poder de negociação, considerado como critério de benefício, foi o critério de maior peso (0,55), enquanto o Custo do frete mantido como critério de custo, representou o critério de menor peso (0,45) no processo decisório. Com isso, soluções estratégicas podem ser tomadas dentro da cadeia de suprimentos resiliente para garantir a continuidade das atividades, podendo apresentar custos de transporte desfavoráveis ou não programados para casos emergenciais.

Portanto, todos os pesos dos critérios encontrados pelo método HFLTS-QFD servirão de dados de entrada na avaliação do desempenho global dos fornecedores em cada dimensão de segmentação escolhida.

5.2.3 AVALIAÇÃO E SEGMENTAÇÃO DOS FORNECEDORES

Por se tratar da proposta de um modelo híbrido para a segmentação de fornecedores, não há a necessidade de realizar todos os passos preconizados nos modelos originais. Com isso, a dificuldade da coleta de dados relacionada aos critérios não foi avaliada nas etapas do método HFLTS-QFD. Portanto, todos os critérios escolhidos pelos decisores na Etapa 2 do modelo em questão foram mantidos nas duas dimensões de segmentação para avaliar o desempenho global dos fornecedores.

Com base no item 3.1 da figura 10, os decisores escolheram 6 fornecedores para ser avaliados. Por motivo de confidencialidade, os fornecedores avaliados foram designados como F1, F2, F3, F4, F5 e F6. Com isso, o Quadro 11 mostra as avaliações dos decisores, fazendo uso das abreviações dos julgamentos linguísticos

para os fornecedores na dimensão de segmentação dos intensificadores de resiliência. Da mesma forma, o Quadro 12 mostra os julgamentos dos decisores em questão na dimensão de segmentação dos redutores de resiliência.

Como pode ser observado no Quadro 11, a equipe dos decisores não apresentou nenhuma hesitação durante as avaliações dos fornecedores na dimensão dos intensificadores de resiliência, demonstrando conhecimento decorrente da real prática de gestão de fornecedores por parte da empresa.

Quadro 9 - Julgamentos dos decisores na dimensão dos intensificadores

Decisores	Critérios	Fornecedores					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
DM1	<i>Lead Time de Pedidos</i>	MA	A	B	A	M	M
	Nível de Colaboração	A	A	M	M	MB	M
	Segurança	MA	MA	M	M	B	M
	Capacidade de resposta	A	MA	A	B	M	M
DM2	<i>Lead Time de Pedidos</i>	A	A	M	A	M	M
	Nível de Colaboração	MA	A	M	M	B	A
	Segurança	A	A	B	M	B	M
	Capacidade de resposta	A	A	MA	M	A	M

Fonte: Autoria própria (2024).

Quadro 10 - Julgamentos decisores na dimensão dos redutores

Decisores	Critérios	Fornecedores					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
DM1	Custo do Frete	M	A	MA	A	AB	B
	Poder de Negociação	B	B	M	B	M	A
DM2	Custo do Frete	A	M	M	MA	A	M

	Poder de Negociação	M	M	A	M	A	A
--	---------------------	---	---	---	---	---	---

Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, o Quadro 12 mostra também que os decisores em questão, por conhecerem bem os fornecedores avaliados, não apresentaram nenhuma hesitação durante as avaliações do desempenho dos fornecedores na dimensão dos redutores de resiliência.

Com base no item 3.3 da Figura 10, seguem os principais cálculos para a pontuação final do desempenho dos fornecedores em cada dimensão de segmentação, aplicando o método HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades (Wu *et al.*, 2019); o método em questão é também conhecido como método PDHFLVIKOR (*Possibility Distribution of Hesitant Fuzzy Linguistic VIKOR*). Ao aplicar o método em questão, considerou-se para o presente estudo os pesos dos critérios de avaliação calculados pelo método HFLTS-QFD e que os dois decisores têm o mesmo peso na tomada de decisão. Além disso, considerou-se o conjunto S de termos linguísticos, tal que $S = \{s_0 = \text{nulo}, s_1 = \text{muito baixo}, s_2 = \text{baixo}, s_3 = \text{médio}, s_4 = \text{alto}, s_5 = \text{muito alto}, s_6 = \text{absoluto}\}$ para a avaliação dos fornecedores. Para mais detalhes sobre o método HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades, recomenda-se a leitura do trabalho de WU *et al.* (2019).

Vale a pena lembrar aqui os pesos dos critérios da dimensão dos intensificadores de resiliência: *Lead time* de pedidos com peso 0,26, Nível de colaboração com peso 0,24, Segurança com peso 0,25 e Capacidade de resposta com peso 0,26. A Tabela 21 apresenta a transformação dos julgamentos em HFLTS, utilizando a regra de normalização pelo tipo de critério. No *Lead time* de pedidos, utiliza-se o operador $Neg(\vartheta)$, conforme Equação 27 por ser um critério de custo.

A partir das matrizes de decisão e da Equação 20, são calculados os valores dos PDHFLTS, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 22. O presente estudo considerou dois decisores de igual importância. Com isso, os pesos dos decisores são iguais. Mediante essa consideração e a partir da Equação 18, os pesos dos decisores são dados por . Com os pesos em questão, fica viável a definição da matriz de decisão agregada e normalizada por intermédio do operador HFLWA e com base na Equação 21. A Tabela 23 mostra o resultado da agregação

em questão. Com isso, a definição da matriz de decisão agregada possibilita a aplicação do método HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades, dando início à Etapa 1 do método em questão.

Tabela 21 - Transformação dos Julgamentos na dimensão dos intensificadores

Deciso res	Critérios	Fornecedores					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
DM1	<i>Lead Time de Pedidos</i>	{S ₁ }	{S ₂ }	{S ₄ }	{S ₂ }	{S ₃ }	{S ₃ }
	Nível de Colaboração	{S ₄ }	{S ₄ }	{S ₃ }	{S ₃ }	{S ₁ }	{S ₃ }
	Segurança	{S ₅ }	{S ₅ }	{S ₃ }	{S ₃ }	{S ₂ }	{S ₃ }
	Capacidade de resposta	{S ₄ }	{S ₅ }	{S ₄ }	{S ₂ }	{S ₃ }	{S ₃ }
DM2	<i>Lead Time de Pedidos</i>	{S ₂ }	{S ₂ }	{S ₃ }	{S ₂ }	{S ₃ }	{S ₃ }
	Nível de Colaboração	{S ₅ }	{S ₄ }	{S ₃ }	{S ₃ }	{S ₂ }	{S ₄ }
	Segurança	{S ₄ }	{S ₄ }	{S ₂ }	{S ₃ }	{S ₂ }	{S ₃ }
	Capacidade de resposta	{S ₄ }	{S ₄ }	{S ₅ }	{S ₃ }	{S ₄ }	{S ₃ }

Fonte: Autoria própria (2024).

A média dos elementos da matriz HFLWA é dada pela Equação 24 e os resultados são apresentados na Tabela 24. Além disso, a variância dos elementos da matriz HFLWA é dada pela Equação 25 e os resultados são apresentados na Tabela 25, com intermédio das Equações 10 e 11. Por sua vez, a Tabela 26 apresenta as distâncias dadas pela Equação 26 dos elementos da matriz HFLWA em relação à SIP, com intermédio das Equações 10 e 11.

Tabela 22 - PDHFLTS referentes às matrizes DM1 e DM2

Decisores	Critérios	Fornecedores					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
DM1	Lead Time de Pedidos	$\{s_1(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$
	Nível de Colaboração	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_1(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$
	Segurança	$\{s_5(1,0)\}$	$\{s_5(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$
	Capacidade de resposta	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_5(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$
DM2	Lead Time de Pedidos	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$
	Nível de Colaboração	$\{s_5(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$
	Segurança	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$
	Capacidade de resposta	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_5(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 23 – Matriz de decisão agregada e normalizada – HFLWA

Fornecedores	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
F1	$\{s_1(0,5), s_2(0,5)\}$	$\{s_4(0,5), s_5(0,5)\}$	$\{s_4(0,5), s_5(0,5)\}$	$\{s_4(1,0)\}$
F2	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_4(0,5), s_5(0,5)\}$	$\{s_4(0,5), s_5(0,5)\}$
F3	$\{s_3(0,5), s_4(0,5)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_2(0,5), s_3(0,5)\}$	$\{s_4(0,5), s_5(0,5)\}$
F4	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_2(0,5), s_3(0,5)\}$
F5	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_1(0,5), s_2(0,5)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(0,5), s_4(0,5)\}$
F6	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(0,5), s_4(0,5)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 24– Média dos elementos da matriz HFLWA

Fornecedores	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
F1	1,50	4,50	4,50	4,00
F2	2,00	4,00	4,50	4,50
F3	3,50	3,00	2,50	4,50
F4	2,00	3,00	3,00	2,50
F5	3,00	1,50	2,00	3,50
F6	3,00	3,50	3,00	3,00

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 25 – Variância dos elementos da matriz HFLWA

Fornecedores	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
F1	0,25	0,25	0,25	0,00
F2	0,00	0,00	0,25	0,25
F3	0,25	0,00	0,25	0,25
F4	0,00	0,00	0,00	0,25
F5	0,00	0,25	0,00	0,25
F6	0,00	0,25	0,00	0,00

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 26 – Distâncias de HFLWA em relação à SIP relativa

$d_{pd}(HFLWA_{i,j}, SIP_i)$	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
$d_{pd}(HFLWA_{1,i}, SIP_i)$	0,2857	0,0000	0,0000	0,0714
$d_{pd}(HFLWA_{2,i}, SIP_i)$	0,2143	0,0714	0,0000	0,0000
$d_{pd}(HFLWA_{3,i}, SIP_i)$	0,0000	0,2143	0,2857	0,0000
$d_{pd}(HFLWA_{4,i}, SIP_i)$	0,2143	0,2143	0,2143	0,2857
$d_{pd}(HFLWA_{5,i}, SIP_i)$	0,0714	0,4286	0,3571	0,1429
$d_{pd}(HFLWA_{6,i}, SIP_i)$	0,0714	0,1429	0,2143	0,2143
$d(SIN, SIP)$	0,2857	0,4286	0,3571	0,2857

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

As SIP e SIN absolutas podem também ser usadas para auxiliar no cálculo das distâncias de HFLWA, com base nas Equações 22 e 23. Com isso, o resultado apresenta duas ordenações finais, sendo uma considerando as SIP e SIN relativas e a outra considerando as SIP e SIN absolutas. A Tabela 27 apresenta os resultados da opção relacionada às SIP e SIN absolutas.

Tabela 27 – Distâncias de HFLWA e de SIN absoluta em relação à SIP absoluta

$d_{pd}(HFLWA_{i,i}, SIP_i)$	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
$d_{pd}(HFLWA_{1,i}, SIP_i)$	0,6429	0,2143	0,2143	0,2857
$d_{pd}(HFLWA_{2,i}, SIP_i)$	0,5714	0,2857	0,2143	0,2143
$d_{pd}(HFLWA_{3,i}, SIP_i)$	0,3571	0,4286	0,5000	0,2143
$d_{pd}(HFLWA_{4,i}, SIP_i)$	0,5714	0,4286	0,4286	0,5000
$d_{pd}(HFLWA_{5,i}, SIP_i)$	0,4286	0,6429	0,5714	0,3571
$d_{pd}(HFLWA_{6,i}, SIP_i)$	0,4286	0,3571	0,4286	0,4286
$d_{pd}(SIN_i, SIP_i)$	0,8571	0,8571	0,8571	0,8571

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

A Etapa 2 do Método HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades se encarrega de calcular os valores de utilidade de grupo (S_i) usando a Equação 12 e o valor de arrependimento individual (R_i) usando a Equação 13 em relação às alternativas de fornecimento a_i ($i = 1, 2, \dots, I$). Esses elementos são encontrados com base nos valores obtidos da L_p -métrica na Equação 9 e nas Equações 10 e 11. Por sua vez, a Etapa 3 encontra os valores de Q_i por intermédio da Equação 14 e considerando $\vartheta = 0,5$. Com isso, a Tabela 28 apresenta os valores de S_i , R_i e Q_i baseados nas SIP e SIN relativas.

Tabela 28 – Cálculos da L_p – métrica e dos valores de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN relativas

Fornecedores	L_p – métrica	Etapa 2				Etapa 3		
		C1	C2	C3	C4	S_i	R_i	Q_i
F1	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{1,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,2600	0,0000	0,0000	0,0625	0,3225	0,2600	0,5911
F2	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{2,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1950	0,0400	0,0000	0,0000	0,2350	0,1950	0,0517
F3	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{3,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,0000	0,1200	0,2000	0,0000	0,3200	0,2000	0,1747
F4	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{4,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1950	0,1200	0,1500	0,2500	0,7150	0,2500	0,9310
F5	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{5,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,0650	0,2400	0,2500	0,1250	0,6800	0,2500	0,8946
F6	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{6,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,0650	0,0800	0,1500	0,1875	0,4825	0,1875	0,2578

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

Como pode ser observado na Tabela 28, os fornecedores F4 e F5 estão empatados em R_i , tendo 0,25 como valor comum.

Tabela 29 – Cálculos da L_p – métrica e valores de S_i , R_i e Q_i baseado em SIP e SIN absolutas

Fornecedores	L_p – métrica	Etapa 2				Etapa 3		
		C1	C2	C3	C4	S_i	R_i	Q_i
F1	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{1,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1950	0,0600	0,0625	0,0833	0,4008	0,1950	0,5556
F2	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{2,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1733	0,0800	0,0625	0,0625	0,3783	0,1733	0,3333
F3	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{3,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1083	0,1200	0,1458	0,0625	0,4367	0,1458	0,2658
F4	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{4,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1733	0,1200	0,1250	0,1458	0,5642	0,1733	0,7922
F5	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{5,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1300	0,1800	0,1667	0,1042	0,5808	0,1800	0,8846
F6	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{6,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1300	0,1000	0,1250	0,1250	0,4800	0,1300	0,2510

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

Por sua vez, a Tabela 29 apresenta os valores de S_i e R_i com base nas SIP e SIN absolutas. Como pode ser observado na Tabela 29 em questão, os fornecedores F2 e F4 estão empatados baseado em R_i , tendo aproximadamente 0,17 como valor comum.

Na Etapa 4 do Método HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades, as alternativas são ordenadas com base nos valores de S_i , R_i e Q_i encontrados na etapa anterior, lembrando que as alternativas com menores valores desses elementos apresentam melhor desempenho. Com isso, a Tabela 30 apresenta a ordenação final baseada nas soluções ideais relativas. Da mesma forma, a Tabela 31 apresenta a ordenação baseada nas soluções ideais absolutas. Como pode ser visto na Tabela 31, o fornecedor F6 apresenta o melhor desempenho baseado em Q_i .

Tabela 30 – Ordenação de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN relativas

Rank	S_i	R_i	$Q_i(0,5)$
1º	F2	F6	F2
2º	F3	F2	F3
3º	F1	F3	F6
4º	F6	F4=F5	F1
5º	F5	F4=F5	F5
6º	F4	F1	F4

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 31 – Ordenação de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN absolutas

Rank	S_i	R_i	$Q_i(0,5)$
1º	F2	F6	F6
2º	F1	F3	F3
3º	F3	F2=F4	F2
4º	F6	F4=F2	F1
5º	F4	F5	F4
6º	F5	F1	F5

Fonte: Autoria própria (2024).

Já na Etapa 5 do Método HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades, tem-se como objetivo encontrar a melhor solução do problema investigado ou uma solução compromisso, por intermédio de testes para verificação da vantagem aceitável e da estabilidade aceitável. Nesse sentido, a partir da SIP e da SIN relativas e da Equação 15, obteve-se que $a_Q^{(2)} - a_Q^{(1)} \geq \frac{1}{I-1} \rightarrow 0,1747 - 0,0517 \geq 0,200 \rightarrow 0,123 \geq 0,200$, o que é falso. Com isso, a vantagem aceitável não foi satisfeita, provocando a realização do teste da estabilidade aceitável: a melhor classificada em Q_i seja a melhor classificada em S_i e/ou R_i . De acordo com a tabela 30, F2 é a melhor classificada em Q_i e em S_i , satisfazendo dessa forma a condição de estabilidade aceitável mesmo tendo F6 em primeiro lugar em R_i . Portanto, a solução compromisso é composta pelas alternativas F2 e F3.

Da mesma forma, fazendo uso da SIP e da SIN absolutas no teste da vantagem aceitável, obteve-se $a_Q^{(2)} - a_Q^{(1)} \geq \frac{1}{I-1} \rightarrow 0,2658 - 0,2510 \geq 0,200 \rightarrow 0,0148 \geq 0,200$, o que é falso. No teste da estabilidade aceitável, tem-se que F6 é a melhor classificada em Q_i e em R_i , F2 é a melhor colocada em S_i . Portanto, a solução compromisso derivada do problema é composta pelas alternativas F6, F3 e F2. Uma análise de sensibilidade mais apurada do método PDHFLVIKOR será abordada no próximo capítulo.

Da mesma forma, os resultados da base dos redutores de resiliência foram obtidos repetindo os passos realizados na base de segmentação dos intensificadores de resiliência. Com isso, vale também a pena lembrar os pesos dos critérios da dimensão dos redutores de resiliência: Custo de frete (C5) com peso 0,45 e Poder de negociação (C6) com peso 0,55. Portanto, a Tabela 32 mostra a transformação dos julgamentos dos decisores em HFLTS, já utilizando a regra de normalização pelo tipo de critério. No caso do Custo do frete, utiliza-se o operador $Neg(\vartheta)$ também por ser um critério de custo.

A Tabela 33 mostra os PDHFLTS referentes às matrizes DM1 e DM2. Considerando dois decisores de igual importância, obtêm-se $\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{1}{2} = 0,5$. Com isso, os pesos dos decisores são dados por $\lambda = (0,5; 0,5)$. A Tabela 34 mostra a matriz de decisão agregada e normalizada – HFLWA, possibilitando o início da Etapa 1 do método PDHFLTS. Com isso, a Tabela 35 mostra a média dos elementos da matriz HFLWA. A Tabela 36 mostra a variância dos elementos da

matriz HFLWA. A Tabela 37 apresenta os resultados dos cálculos das distâncias de HFLWA baseada na SIP relativa. A Tabela 38 apresenta os resultados dos cálculos das distâncias de HFLWA baseado na SIP absoluta.

Tabela 32 - Transformação dos julgamentos dos decisores na dimensão dos redutores

Decisores	Critérios	Fornecedores					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
DM1	Custo do Frete (C5)	$\{s_3\}$	$\{s_2\}$	$\{s_1\}$	$\{s_2\}$	$\{s_0\}$	$\{s_4\}$
	Poder de Negociação (C6)	$\{s_2\}$	$\{s_2\}$	$\{s_3\}$	$\{s_2\}$	$\{s_3\}$	$\{s_4\}$
DM2	C5	$\{s_2\}$	$\{s_3\}$	$\{s_3\}$	$\{s_1\}$	$\{s_2\}$	$\{s_3\}$
	C6	$\{s_3\}$	$\{s_3\}$	$\{s_4\}$	$\{s_3\}$	$\{s_4\}$	$\{s_4\}$

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 33 - PDHFLTS referentes às matrizes DM1 e DM2

Decisores	Critérios	Fornecedores					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
DM1	C5	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_1(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_0(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$
	C6	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$
DM2	C5	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_1(1,0)\}$	$\{s_2(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$
	C6	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_3(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$	$\{s_4(1,0)\}$

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 34 – Matriz de decisão agregada e normalizada – HFLWA

Fornecedores	Critérios	
	C5	C6
F1	$\{s_2(0,5), s_3(0,5)\}$	$\{s_2(0,5), s_3(0,5)\}$
F2	$\{s_2(0,5), s_3(0,5)\}$	$\{s_2(0,5), s_3(0,5)\}$
F3	$\{s_1(0,5), s_3(0,5)\}$	$\{s_3(0,5), s_4(0,5)\}$
F4	$\{s_1(0,5), s_2(0,5)\}$	$\{s_2(0,5), s_3(0,5)\}$
F5	$\{s_0(0,5), s_2(0,5)\}$	$\{s_3(0,5), s_4(0,5)\}$
F6	$\{s_3(0,5), s_4(0,5)\}$	$\{s_4(1,0)\}$

Fonte: Autoria própria (2024).

□

Tabela 35 – Média dos elementos da matriz HFLWA

Fornecedores	Critérios	
	C5	C6
F1	2,500	2,500
F2	2,500	2,500
F3	2,000	3,500
F4	1,500	2,500
F5	1,000	3,500
F6	3,500	4,000

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 36 – Variância dos elementos da matriz HFLWA

Fornecedores	Critérios	
	C5	C6
F1	0,2500	0,2500
F2	0,2500	0,2500
F3	1,0000	0,2500
F4	0,2500	0,2500
F5	1,0000	0,2500
F6	0,2500	0,000

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 37 – Distâncias de HFLWA e de SIN relativa em relação à SIP relativa

$d_{pd}(HFLWA_{i,i}, SIP_i)$	Critérios	
	C5	C6
$d_{pd}(HFLWA_{1,i}, SIP_i)$	0,1429	0,2143
$d_{pd}(HFLWA_{2,i}, SIP_i)$	0,1429	0,2143
$d_{pd}(HFLWA_{3,i}, SIP_i)$	0,2143	0,0714
$d_{pd}(HFLWA_{4,i}, SIP_i)$	0,2857	0,2143
$d_{pd}(HFLWA_{5,i}, SIP_i)$	0,3571	0,0714
$d_{pd}(HFLWA_{6,i}, SIP_i)$	0,0000	0,0000
$d_{pd}(SIN_i, SIP_i)$	0,3571	0,2143

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

Tabela 38 – Distâncias de HFLWA e de SIN absoluta em relação à SIP absoluta

$d_{pd}(HFLWA_{i,i}, SIP_i)$	Critérios	
	C5	C6
$d_{pd}(HFLWA_{1,i}, SIP_i)$	0,5000	0,5000
$d_{pd}(HFLWA_{2,i}, SIP_i)$	0,5000	0,5000
$d_{pd}(HFLWA_{3,i}, SIP_i)$	0,5714	0,3571
$d_{pd}(HFLWA_{4,i}, SIP_i)$	0,6429	0,5000
$d_{pd}(HFLWA_{5,i}, SIP_i)$	0,7143	0,3571
$d_{pd}(HFLWA_{6,i}, SIP_i)$	0,3571	0,2857
$d_{pd}(SIN_i, SIP_i)$	0,8571	0,8571

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

Já nas Etapas 2 e 3 do Método PDHFLVIKOR, a Tabela 39 apresenta os valores de S_i , R_i e Q_i baseados nas SIP e SIN relativas. Como pode ser visto na Tabela 39, F1 e F2 apresentam o mesmo desempenho em S_i , R_i e Q_i . Por sua vez, a Tabela 40 apresenta os valores de S_i , R_i e Q_i baseados nas SIP e SIN absolutas.

Tabela 39 – Cálculos da L_p – métrica e valores de S_i , R_i e Q_i baseados em SIP e SIN relativas

Fornecedores	L_p – métrica	Etapa 2		Etapa 3		
		C5	C6	S_i	R_i	Q_i
F1	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{1,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1800	0,5500	0,7300	0,5500	0,9011
F2	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{2,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1800	0,5500	0,7300	0,5500	0,9011
F3	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{3,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,2700	0,1833	0,4533	0,2700	0,4945
F4	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{4,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,3600	0,5500	0,9100	0,5500	1,0000
F5	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{5,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,4500	0,1833	0,6333	0,4500	0,7571
F6	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{6,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

Tabela 40 – Cálculos da L_p – métrica e valores de S_i , R_i e Q_i baseados em SIP e SIN absolutas

Fornecedores	L_p – métrica	Etapa 2		Etapa 3		
		C5	C6	S_i	R_i	Q_i
F1	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{1,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,2625	0,3208	0,5833	0,3208	0,7251
F2	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{2,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,2625	0,3208	0,5833	0,3208	0,7251
F3	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{3,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,3000	0,2292	0,5292	0,3000	0,5754
F4	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{4,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,3375	0,3208	0,6583	0,3375	0,9000
F5	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{5,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,3750	0,2292	0,6042	0,3750	0,9058
F6	$w_i \frac{d_{pd}(HFLWA_{6,i}, SIP_i)}{d_{pd}(SIN_i, SIP_i)}$	0,1875	0,1833	0,3708	0,1875	0,000

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

Na Etapa 4 do Método HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades, a Tabela 41 apresenta a ordenação baseada nas soluções ideais relativas. Como pode ser visto na Tabela 41, o fornecedor F6 apresenta o melhor desempenho em Q_i , R_i e S_i . Da mesma maneira, a Tabela 42 apresenta a ordenação baseada nas

soluções ideais absolutas. Como pode ser visto na Tabela 42, o fornecedor F6 apresenta também o melhor desempenho em Q_i , R_i e S_i .

Tabela 41 – Ordenação de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN relativas

Rank	S_i	R_i	$Q_i (0,5)$
1º	F6	F6	F6
2º	F3	F3	F3
3º	F5	F5	F5
4º	F1=F2	F1=F2	F1=F2
5º	F2=F1	F2=F1	F2=F1
6º	F4	F4	F4

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 42 – Ordenação de S_i , R_i e Q_i com base em SIP e SIN absolutas

Rank	S_i	R_i	$Q_i (0,5)$
1º	F6	F6	F6
2º	F3	F3	F3
3º	F2=F1	F1=F2	F1=F2
4º	F2=F1	F2=F1	F2=F1
5º	F5	F4	F4
6º	F4	F5	F5

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Etapa 5 do Método HFLTS-VIKOR com distribuição de possibilidades e com base na SIP e na SIN relativas na aplicação do teste da vantagem aceitável da Equação 15, obteve-se $a_Q^{(2)} - a_Q^{(1)} \geq \frac{1}{l-1} \rightarrow 0,4945 - 0,000 \geq 0,200 \rightarrow 0,4945 \geq 0,200$, o que é verdadeiro. No teste da estabilidade aceitável, tem-se que a alternativa F6 é a melhor classificada em Q_i e também em R_i . Portanto, F6 é a solução compromisso do problema na dimensão de segmentação dos redutores de resiliência.

Com base na SIP e na SIN absolutas na aplicação do teste da vantagem aceitável, obteve-se $a_Q^{(2)} - a_Q^{(1)} \geq \frac{1}{l-1} \rightarrow 0,5754 - 0,000 \geq 0,200 \rightarrow 0,5754 \geq 0,200$,

o que é verdadeiro. No teste da estabilidade aceitável, tem-se que F6 é a melhor classificada em Q_i e também em R_i . Portanto, F6 é a solução compromisso do problema na dimensão de segmentação dos redutores de resiliência. Uma análise de sensibilidade mais apurada do método PDHFLVIKOR será melhor abordada no próximo capítulo.

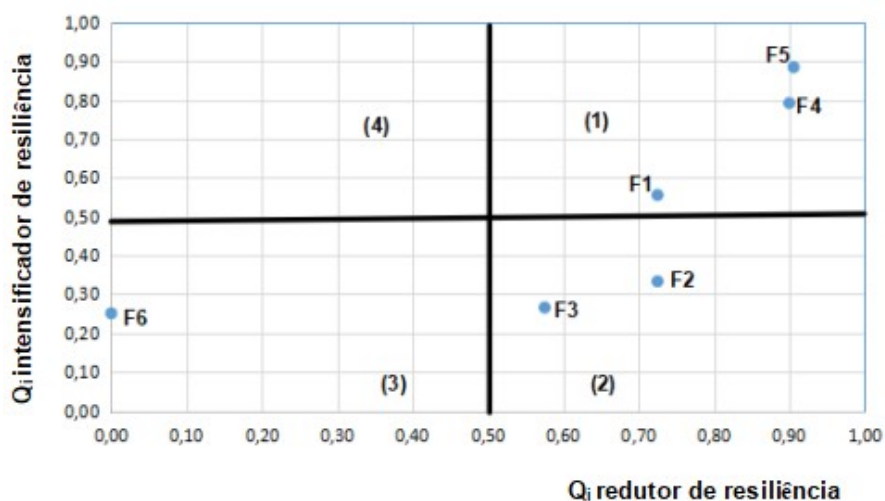
A partir do desempenho dos fornecedores e dos valores de Q_i baseados nas SIP e SIN absolutas em cada base de segmentação, foi possível construir a matriz de segmentação dos fornecedores previamente avaliados pelo método PDHFLVIKOR. A Tabela 43 mostra os valores de Q_i usados na categorização de fornecedores. Por sua vez, a Figura 11 mostra os resultados da segmentação dos fornecedores em questão por intermédio de uma matriz de categorização, com base nas SIP e SIN absolutas.

Tabela 43 – Valores de Q_i usados na segmentação de fornecedores

Fornecedores	Q_i (0,5) na base dos redutores de resiliência	Q_i (0,5) na base dos intensificadores de resiliência
F1	0,73	0,56
F2	0,73	0,33
F3	0,58	0,27
F4	0,90	0,79
F5	0,91	0,88
F6	0,00	0,25

Fonte: Autoria própria (2024).

Como pode ser observado na Figura 11, os fornecedores F1, F4 e F5 pertencem ao Grupo 1, F2 e F3 pertencem ao Grupo 2, enquanto F6 pertence ao Grupo 3. Além disso, o Grupo 4 ficou sem nenhum fornecedor. O Quatro 11 apresenta mais detalhes sobre os grupos típicos da matriz de segmentação de acordo com o desempenho global dos fornecedores, baseado em Parkouhi *et al.* (2019).

Figura 11 – Matriz de segmentação de fornecedores avaliados

Fonte: Autoria própria (2024).

Legenda dos grupos: (1) - Vulnerável, (2) - Instável, (3) - Resiliente, (4) - Sensível

Com base no Quadro 11, F6 é classificado como fornecedor resiliente; F2 e F3 são considerados fornecedores instáveis; enquanto F1, F4 e F5 são considerados fornecedores vulneráveis. Além disso, não foi encontrado nenhum fornecedor sensível.

Quadro 11 – Detalhamento da Matriz de segmentação de fornecedores

Grupos	Q_i da base dos intensificadores	Q_i da base dos redutores	Descrição dos Grupos	Fornecedores avaliados
(1)	Maior que 0,50	Maior que 0,50	Fornecedores vulneráveis	F1, F4 e F5
(2)	Até 0,50	Maior que 0,50	Fornecedores instáveis	F2 e F3
(3)	Até 0,50	Até 0,50	Fornecedores resilientes	F6
(4)	Maior que 0,50	Até 0,50	Fornecedores sensíveis	

Fonte: Autoria própria (2024).

Com base nos julgamentos dos decisores, o fornecedor F6 teve uma boa avaliação nos critérios de custos, apresentando um baixo custo de frete e um lead time de pedido médio, o que contribuiu para o bom desempenho global do fornecedor em questão. Além disso, baseado no feedback dos decisores, pode-se afirmar que os resultados estão coerentes com a realidade da empresa.

A partir da Figura 11 e do Quadro 11, é possível notar que programas de desenvolvimento de fornecedores podem ser implantados nos Grupos 1 e 2 para melhorar o desempenho dos fornecedores impactados. Com isso, o Grupo 1 precisa melhorar o desempenho nas duas bases de segmentação para se tornar resiliente. Para isso, deve reduzir o *Lead time* de pedidos e o Custo do frete principalmente, além de melhorar o desempenho nos critérios nível de colaboração, segurança e capacidade de resposta. Os fornecedores do Grupo 2 precisam melhorar o desempenho nos redutores de resiliência, o que pode ser feito por meio da redução dos Custos de frete e da melhoria do Poder de negociação.

6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Os testes de sensibilidade correspondem a uma análise do comportamento de um sistema avaliado de acordo com a variação de alguns dos seus principais parâmetros. Por se tratar da proposta de um modelo híbrido, a análise de sensibilidade do modelo proposto foi feita com base nos parâmetros ajustáveis nas técnicas utilizadas. Neste sentido, os testes de sensibilidade foram realizados por meio da variação dos valores usados nos parâmetros " θ " na definição dos pesos dos critérios de avaliação dos fornecedores com base em HFLTS-QFD, e " ϑ " na avaliação do desempenho global dos fornecedores nas duas bases de segmentação escolhidas com base em HFLTS-VIKOR.

6.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MÉTODO HFLTS-QFD

Com base na Seção 2.4.4, o parâmetro θ representa o grau de risco associado à tomada de decisão e varia entre 0 e 1. Para situação neutra, adota-se $\theta=0,5$ (usado na aplicação do modelo proposto). Além disso, $\theta>0,5$ corresponde a uma visão pessimista e $\theta<0,5$ representa uma visão otimista (Liao *et al.*, 2014). Com isso, foram realizados testes de sensibilidade da variação dos pesos dos critérios de avaliação dos fornecedores a partir de θ , nos cenários otimista e pessimista:

- Otimista: o valor do parâmetro $\theta=0,10$ foi usado para a definição dos pesos dos requisitos e nos pesos dos critérios;
- Pessimista: da mesma forma, o valor de $\theta=0,90$ foi usado para o cálculo dos pesos dos requisitos e nos pesos dos critérios.

Com base nas variações dos valores de θ , buscou-se verificar se os pesos dos critérios de avaliação dos fornecedores impactavam a categorização dos fornecedores em questão na matriz de segmentação. Os pesos dos critérios de avaliação dos fornecedores, obtidos com base em HFLTS-QFD, serviram de dados de entrada para o método HFLTS-VIKOR na avaliação do desempenho dos fornecedores. O valor de $\vartheta = 0,5$ (método HFLTS-VIKOR) e os julgamentos dos decisores foram mantidos durante todos os testes de sensibilidade. As Tabelas 44,

45, 46 e 47 mostram respectivamente os resultados dos pesos dos critérios nos dois cenários analisados. As pontuações dos fornecedores na dimensão dos intensificadores e na dimensão dos redutores de resiliência são apresentadas nas Tabelas 48 e 49.

Tabela 44 - Resultado do cálculo dos pesos dos critérios intensificadores para $\theta=0,10$

Critérios	Distância positiva	Distância negativa	Grau de satisfação	Peso do critério
<i>Lead Time</i> de pedidos (C1)	0,2991	0,5789	0,9457	0,2515
Nível de colaboração (C2)	0,3350	0,5326	0,9347	0,2487
Segurança (C3)	0,3226	0,5696	0,9408	0,2503
Capacidade de resposta (C4)	0,3313	0,5540	0,9377	0,2495

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 45 - Resultado do cálculo dos pesos dos redutores para $\theta=0,10$

Critérios	Distância positiva	Distância negativa	Grau de satisfação	Peso do critério
Custo do frete (C5)	0,5093	0,3696	0,8672	0,4892
Poder de negociação (C6)	0,4246	0,4526	0,9056	0,5108

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 46- Resultado do cálculo dos pesos dos critérios intensificadores para $\theta=0,90$

Critérios	Distância positiva	Distância negativa	Grau de satisfação	Peso do critério
Lead Time de pedidos (C1)	0,2909	0,5840	0,1824	0,2748
Nível de colaboração (C2)	0,3330	0,5344	0,1513	0,2280
Segurança (C3)	0,3211	0,5697	0,1647	0,2481
Capacidade de resposta (C4)	0,3183	0,5676	0,1654	0,2491

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 47 - Resultado do cálculo dos pesos dos redutores para $\theta=0,90$

Critérios	Distância positiva	Distância negativa	Grau de satisfação	Peso do critério
Custo do frete (C5)	0,5153	0,3631	0,0726	0,4075
Poder de negociação (C6)	0,4262	0,4528	0,1056	0,5925

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 48 – Valores de Q_i usados na segmentação de fornecedores para $\theta=0,10$

Fornecedores	$Q_i(0,5)$ na base dos redutores de resiliência	$Q_i(0,5)$ na base dos intensificadores de resiliência
F1	0,5907	0,5506
F2	0,5907	0,3333
F3	0,5835	0,3105
F4	0,9000	0,7842
F5	0,9237	0,9833
F6	0,0000	0,2499

Fonte: Autoria própria (2024).

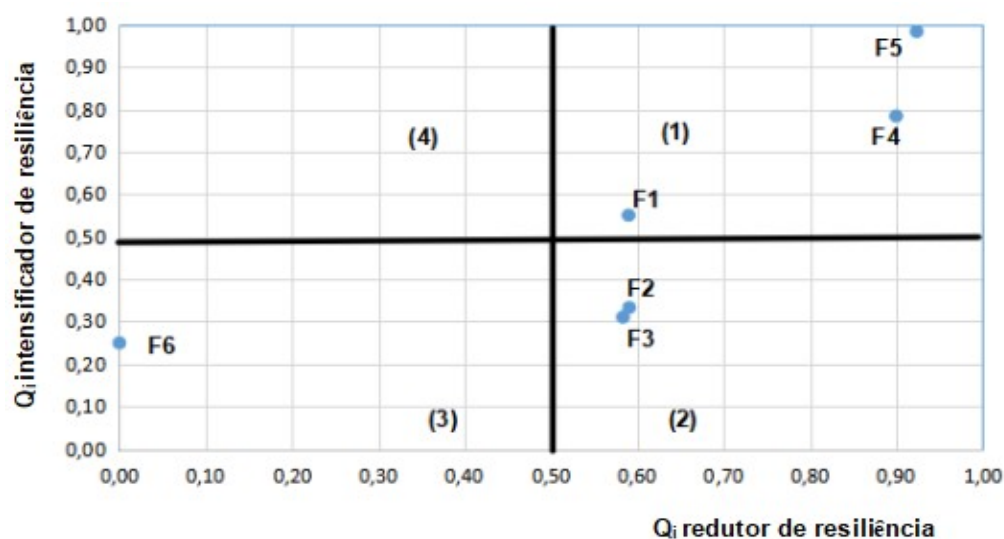
Tabela 49 – Valores de Q_i usados na segmentação de fornecedores para $\theta=0,90$

Fornecedores	$Q_i(0,5)$ na base dos redutores de resiliência	$Q_i(0,5)$ na base dos intensificadores de resiliência
F1	0,8804	0,5635
F2	0,8804	0,3333
F3	0,5167	0,1873
F4	1,0000	0,8049
F5	0,8655	0,7445
F6	0,0000	0,2512

Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, as Figuras 12 e 13 correspondem as matrizes de segmentação dos fornecedores em questão nos dois cenários, a partir dos valores de Q_i baseados nas SIP e SIN absolutas em cada base de segmentação. As matrizes de segmentação em questão foram elaboradas com o propósito de identificar os fornecedores que mudaram de grupos. Como pode ser observado, embora haja mudanças nos valores de Q_i em ambos os cenários testados, nenhum fornecedor mudou de grupo dentro dessas matrizes.

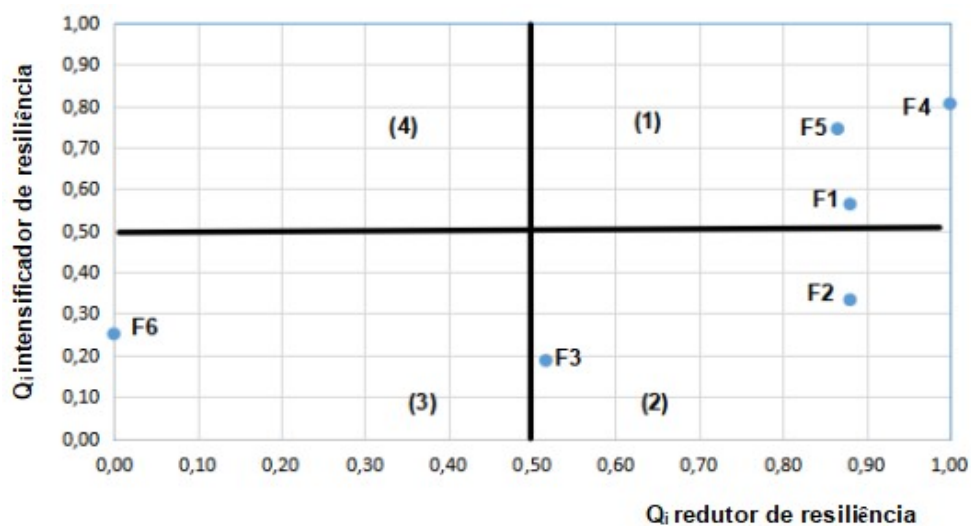
Figura 12 – Matriz de segmentação de fornecedores avaliados para $\theta=0,10$



Fonte: Autoria própria (2024).

Legenda dos grupos: (1) - Vulnerável, (2) - Instável, (3) - Resiliente, (4) - Sensível

Figura 13 – Matriz de segmentação de fornecedores avaliados para $\theta=0,90$



Fonte: Autoria própria (2024).

Legenda dos grupos: (1) - Vulnerável, (2) - Instável, (3) - Resiliente, (4) - Sensível

Na base de segmentação dos intensificadores de resiliência, os fornecedores F1, F2, F4 e F6 foram os mais estáveis considerando os dois cenários testados. Os fornecedores F3 e F5 apresentaram maior variações na base em questão, devido a mudança dos pesos dos critérios. No cenário otimista, os fornecedores F1 e F4

apresentaram uma pequena melhora no desempenho comparando com a aplicação do modelo, ao contrário dos fornecedores F3 e F5 que pioraram. No cenário pessimista, os fornecedores F3 e F5 apresentaram uma melhora significativa no desempenho comparando com a aplicação do modelo, ao contrário do fornecedor F4 que piorou.

Dentro da base de segmentação dos redutores de resiliência, os fornecedores F3 e F6 foram os mais estáveis. As mudanças nessa última base foram maiores por conter apenas dois critérios de avaliação, apresentando um impacto maior sobre a classificação final dos fornecedores devido a mudança dos pesos dos critérios. No cenário otimista, os fornecedores F1 e F2 apresentaram uma melhora significativa no desempenho comparando com a aplicação do modelo, ao contrário do fornecedor F5 que piorou. No cenário pessimista, os fornecedores F3 e F5 apresentaram uma melhora significativa no desempenho comparando com a aplicação do modelo, ao contrário dos fornecedores F1, F2 e F4 que pioraram.

Além disso, as Tabelas 50 e 51 apresentam respectivamente o comportamento dos pesos dos critérios de avaliações dos fornecedores e os grupos específicos aos quais os fornecedores em questão pertencem nos três cenários considerados, mostrando baixas variações dos pesos. Os resultados indicaram a consistência do modelo proposto, pois a classificação dos fornecedores se manteve e as pequenas variações dos pesos tiveram menor impacto do que as avaliações recebidas por estes fornecedores.

Tabela 50 – Síntese da variação dos pesos dos critérios

(Continua)

Crítérios	Pesos para $\theta = 0,10$	Pesos para $\theta = 0,50$ (aplicação)	Pesos para $\theta = 0,90$
C1	0,25	0,26	0,27
C2	0,25	0,24	0,23
C3	0,25	0,25	0,25
C4	0,25	0,25	0,25

(Conclusão)

Crítérios	Pesos para $\theta = 0,10$	Pesos para $\theta = 0,50$ (aplicação)	Pesos para $\theta = 0,90$
C5	0,49	0,45	0,41
C6	0,51	0,55	0,59

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 51 – Impacto na segmentação de fornecedores

Fornecedores	Grupo para $\theta = 0,10$	Grupo para $\theta = 0,50$ (aplicação)	Grupo para $\theta = 0,90$
F1	(1)	(1)	(1)
F2	(2)	(2)	(2)
F3	(2)	(2)	(2)
F4	(1)	(1)	(1)
F5	(1)	(1)	(1)
F6	(3)	(3)	(3)

Fonte: Autoria própria (2024).

6.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MÉTODO PDHFLVIKOR

Os testes de análise de sensibilidade no método PDHFLTS-VIKOR foram feitos a partir de variações no parâmetro ϑ . Com base na Seção 2.5.1, o parâmetro ϑ representa a utilidade máxima do grupo e varia entre 0 e 1. Com isso, o valor de $\vartheta = 0,5$ é usado em cenários que balanceiam a satisfação do grupo com o arrependimento individual; para $\vartheta > 0,5$ tenderá à maior satisfação do grupo (consenso da maioria) e para $\vartheta < 0,5$ indicará menor arrependimento individual.

Com base nas SIP e SIN relativas e em Q_i na base dos intensificadores de resiliência, a Tabela 52 e a Figura 14 apresentam as ordenações das alternativas de fornecimento analisadas. De modo geral, a maioria dos fornecedores apresentam uma estabilidade na ordenação para valores de $\vartheta > 0,4$. Além disso, a Tabela 53 e

a Figura 15 apresentam as ordenações das alternativas de fornecimento, fazendo uso das SIP e SIN absolutas. Nesse caso, a melhor alternativa (F6) se manteve sempre $\vartheta < 0,5$. Por outro lado, quando $\vartheta = 1$, essa alternativa é classificada na quarta posição. Com base em SIP e SIN absolutas, percebe-se que o modelo apresenta menos inversões para valores de $\vartheta < 0,5$.

Tabela 52 – Análise de sensibilidade baseada em SIP e SIN relativas

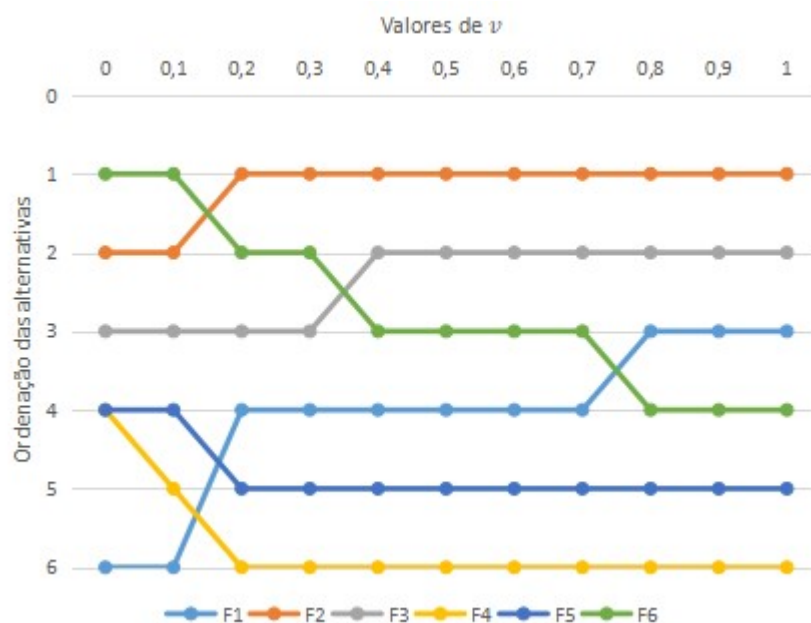
	$Q_{(0)}$	$Q_{(0,1)}$	$Q_{(0,2)}$	$Q_{(0,3)}$	$Q_{(0,4)}$	$Q_{(0,5)}$	$Q_{(0,6)}$	$Q_{(0,7)}$	$Q_{(0,8)}$	$Q_{(0,9)}$	$Q_{(1)}$
F1	1,000	0,918	0,836	0,755	0,673	0,591	0,509	0,428	0,346	0,264	0,182
F2	0,103	0,093	0,083	0,072	0,062	0,052	0,041	0,031	0,021	0,010	0,000
F3	0,172	0,173	0,173	0,174	0,174	0,175	0,175	0,176	0,176	0,177	0,177
F4	0,862	0,876	0,890	0,903	0,917	0,931	0,945	0,959	0,972	0,986	1,000
F5	0,862	0,869	0,875	0,882	0,888	0,895	0,901	0,908	0,914	0,921	0,927
F6	0,000	0,052	0,103	0,155	0,206	0,258	0,309	0,361	0,413	0,464	0,516

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 53 – Análise de sensibilidade baseada em SIP e SIN absolutas

	$Q_{(0)}$	$Q_{(0,1)}$	$Q_{(0,2)}$	$Q_{(0,3)}$	$Q_{(0,4)}$	$Q_{(0,5)}$	$Q_{(0,6)}$	$Q_{(0,7)}$	$Q_{(0,8)}$	$Q_{(0,9)}$	$Q_{(1)}$
F1	1,000	0,911	0,822	0,733	0,644	0,556	0,467	0,378	0,289	0,200	0,111
F2	0,667	0,600	0,533	0,467	0,400	0,333	0,267	0,200	0,133	0,067	0,000
F3	0,244	0,248	0,252	0,257	0,261	0,266	0,270	0,275	0,279	0,284	0,288
F4	0,667	0,692	0,717	0,742	0,767	0,792	0,817	0,842	0,867	0,893	0,918
F5	0,769	0,792	0,815	0,838	0,862	0,885	0,908	0,931	0,954	0,977	1,000
F6	0,000	0,050	0,100	0,151	0,201	0,251	0,301	0,351	0,402	0,452	0,502

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 14 – Ordenação de Q baseada em SIP e SIN relativas

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 15 – Ordenação de Q baseada em SIP e SIN absolutas

Fonte: Autoria própria (2024).

Da mesma forma, as Tabelas 54 e 55, junto com as Figuras 16 e 17 apresentam o comportamento do modelo proposto na dimensão dos redutores de resiliência. Nessa dimensão, o modelo apresenta poucas inversões de ordenação de fornecedores, mostrando mais estabilidade que a base dos intensificadores de

resiliência baseadas em SIP e SIN absolutas. A coerência dos resultados na saída do modelo proposto devido às variações dos parâmetros ajustáveis, dentro de certas faixas de valores, sugere a efetividade do modelo proposto. Além disso, o *feedback* dos decisores sobre os resultados alcançados foi satisfatório e dentro do esperado, principalmente em relação a avaliação do desempenho global dos fornecedores, obtendo grupos de segmentação de acordo com a realidade da empresa.

Tabela 54 – Análise de sensibilidade em SIP e SIN relativas na base dos redutores

	$Q_{(0)}$	$Q_{(0,1)}$	$Q_{(0,2)}$	$Q_{(0,3)}$	$Q_{(0,4)}$	$Q_{(0,5)}$	$Q_{(0,6)}$	$Q_{(0,7)}$	$Q_{(0,8)}$	$Q_{(0,9)}$	$Q_{(1)}$
F1	1,000	0,980	0,960	0,941	0,921	0,901	0,881	0,862	0,842	0,822	0,802
F2	1,000	0,980	0,960	0,941	0,921	0,901	0,881	0,862	0,842	0,822	0,802
F3	0,491	0,492	0,492	0,493	0,494	0,495	0,495	0,496	0,497	0,497	0,498
F4	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
F5	0,818	0,806	0,794	0,782	0,769	0,757	0,745	0,733	0,720	0,708	0,696
F6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

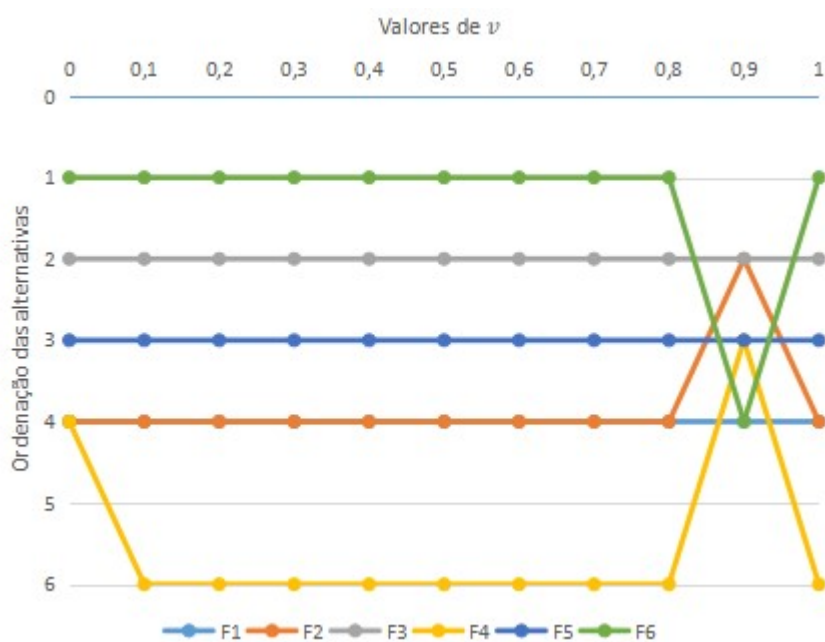
Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 55 – Análise de sensibilidade do método PDHFLVIKOR– SIP e SIN absolutas

	$Q_{(0)}$	$Q_{(0,1)}$	$Q_{(0,2)}$	$Q_{(0,3)}$	$Q_{(0,4)}$	$Q_{(0,5)}$	$Q_{(0,6)}$	$Q_{(0,7)}$	$Q_{(0,8)}$	$Q_{(0,9)}$	$Q_{(1)}$
F1	0,711	0,714	0,717	0,720	0,722	0,725	0,728	0,731	0,734	0,736	0,739
F2	0,711	0,714	0,717	0,720	0,722	0,725	0,728	0,731	0,734	0,736	0,739
F3	0,600	0,595	0,590	0,585	0,580	0,575	0,570	0,566	0,561	0,556	0,551
F4	0,800	0,820	0,840	0,860	0,880	0,900	0,920	0,940	0,960	0,980	1,000
F5	1,000	0,981	0,962	0,943	0,925	0,906	0,887	0,868	0,849	0,830	0,812
F6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

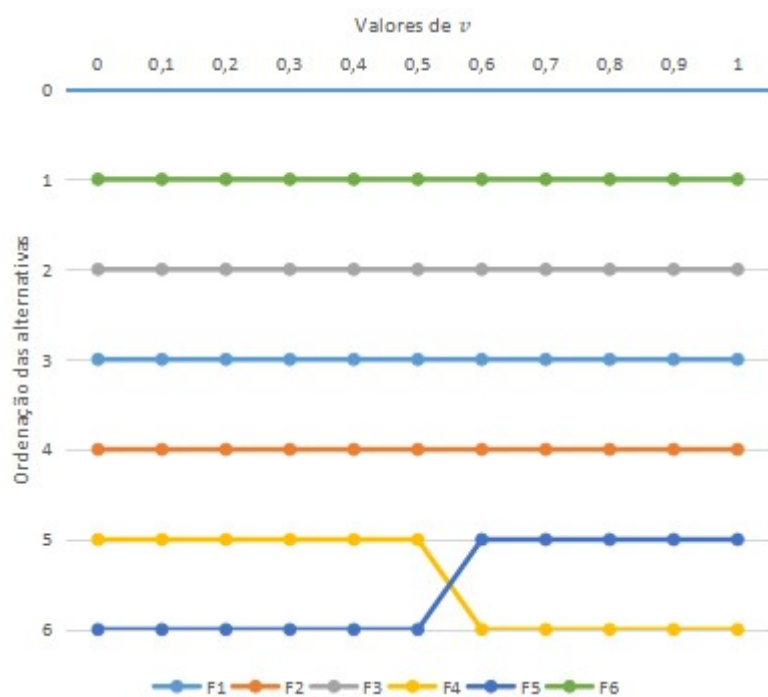
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 16 – Ordenação de Q em SIP e SIN relativas na base dos redutores



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 17 – Ordenação de Q em SIP e SIN absolutas na base dos redutores



Fonte: Autoria própria (2024).

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a proposta de um modelo de apoio a tomada de decisão para segmentação de fornecedores resilientes dentro do contexto da cadeia de suprimentos, em cenário de decisões em grupo, com pesos atribuídos aos decisores, sob incerteza e hesitação. O estudo foi motivado por uma revisão sistemática da literatura referente aos modelos quantitativos para segmentação de fornecedores. Com base nas lacunas de pesquisa encontradas, o método *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets* combinado com os métodos QFD (HFLTS-QFD) e VIKOR (PDHFLTS-VIKOR) foi escolhido para suportar a avaliação do desempenho dos fornecedores, de acordo com os fatores intensificadores de resiliência e fatores redutores de resiliência.

O HFLTS-QFD foi usado nos cálculos dos pesos dos critérios de avaliação dos fornecedores, enquanto o PDHFLTS-VIKOR foi usado para avaliar o desempenho global dos fornecedores, possibilitando a divisão dos fornecedores em questão dentro da matriz de segmentação. Além da contribuição com a revisão sistemática da literatura, este estudo fornece também uma ferramenta computacional que apoia a segmentação de fornecedores baseada nos referidos métodos, implementada em Microsoft Excel.

Um teste piloto do modelo foi feita em uma empresa real do ramo automotivo, com uma equipe de dois decisores, que avaliou seis fornecedores. Os fornecedores classificados como vulneráveis foram F1, F4 e F5, enquanto os fornecedores classificados como instáveis foram F2 e F3. Apenas o fornecedor F6 foi considerado resiliente. As análises dos resultados da aplicação do modelo proposto, acompanhadas do *feedback* dos decisores e da condução de uma análise de sensibilidade, apontam resultados consistentes dentro da realidade da empresa participante da pesquisa. Assim, o modelo proposto pode ser visto como uma opção para superar as lacunas de pesquisa previamente explanadas e apoiar os gestores na elaboração de programas de desenvolvimento de fornecedores que visem promover a resiliência da cadeia de suprimentos.

Em relação às limitações do presente estudo, pode-se citar que a aplicação realizada é um teste piloto com apenas dois tomadores de decisão. Há também a

revisão sistemática da literatura sobre os modelos quantitativos de segmentação de fornecedores abrangeu apenas as principais bases de dados dentro do recorte temporal considerado, o que pode ter feito com que alguns modelos existentes não tenham sido incluídos na revisão em questão. Além disso, a lista de critérios de avaliação de fornecedores não abrange todos os aspectos de avaliação possíveis, podendo ser atualizada e expandida em aplicações futuras do modelo.

Uma sugestão para futuros trabalhos consiste em testar mais requisitos de resiliência e mais critérios de avaliação de fornecedores, que não foram escolhidos pelos decisores neste trabalho. Também pode-se considerar mais decisores e aplicar o modelo proposto em empresas de outros ramos de atividades. Além disso, os métodos de decisão aplicados neste estudo podem ser testados em outros problemas de tomada de decisão da área de gestão de operações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, Jamil *et al.* Multiple criteria group decision making problem based on VIKOR method under hesitant fuzzy environment. In **Proceedings of the Ninth International Conference on Management Science and Engineering Management**, p. 1519-1528. Springer Berlin Heidelberg, 2015.

AKAO, YOJI. QFD: Past, Present, and Future. 3rd International Symposium on Quality Function Deployment (ISQFD'97), **Linköping**, p. 1-12, 1997.

GHUGE, Sagar; DOHALE, Vishwas; AKARTE, Milind. Spare part segmentation for additive manufacturing – A framework. **Computers & Industrial Engineering**, Vol. 169, p. 108277, July 2022.

AKMAN, Gülşen. Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods. **Computers & industrial engineering**, v. 86, p. 69-82, 2015.

ALI, Imran; GÖLGEÇİ, Ismail. Where is supply chain resilience research heading? A systematic and co-occurrence analysis. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 49, n. 8, p. 793-815, 2019.

DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. **Processo de decisão nas organizações: Construindo Modelos De Decisão Multicritério**. Editora Atlas SA, 2013.

ALOINI, Davide *et al.* Leveraging procurement-related knowledge through a. Leveraging procurement-related knowledge through a fuzzy-based DSS. **Journal of Knowledge Management**, v. 23, n. 6, p. 1077-1104, 2019.

ALVARENGA, Augusto Duarte; PEREIRA, Aline Aparecida Silva; SALGADO, Eduardo Gomes. A tomada de decisão na gestão de resíduos sólidos de municípios pequenos brasileiros. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, v. 14, n. 8, p. 14218-14240, 2023.

ALVARENGA, Murilo Zamboni *et al.* Sua cadeia de suprimentos está preparada para a próxima interrupção? Construindo cadeias resilientes. **Revista de Administração de Empresas**, v. 62, n. 1, p. 1-17, Janeiro-Fevereiro, 2022.

AMINDOUST, Atefeh. A resilient-sustainable based supplier selection model using a hybrid intelligent method. **Computers & Industrial Engineering**, vol. 126, p. 122-135, 2018.

ARANTES, Amílcar; ALHAIS, Andreia Frias; FERREIRA, Luis Miguel DF. Application of a purchasing portfolio model to define medicine purchasing strategies: An empirical study. **Socio-Economic Planning Sciences**, vol. 84, p. 101318, 2022.

BAI, Chunguang; REZAEI, Jafar; SARKIS, Joseph. Multicriteria green supplier segmentation. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 64, n. 4, p. 515-528, 2017.

BARRERA, Felipe; SEGURA, Marina; MAROTO, Concepción. Sustainable Technology Supplier Selection in the Banking Sector. **Mathematics**, v. 10, n. 11, p. 1919, 2022.

BARRERA, F.; SEGURA, M.; MAROTO, C. Multicriteria sorting method based on global and local search for supplier segmentation. **International Transactions in Operational Research**, 2023.

BEG, Ismat; RASHID, Tabasam. TOPSIS for hesitant fuzzy linguistic term sets. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 28, n. 1, p. 1162-1171, 2013.

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

BIANCHINI, Augusto *et al.* Supply chain redesign for lead-time reduction through Kraljic purchasing portfolio and AHP integration. Benchmarking: An **International Journal**, v. 26, n. 1, p. 1194-1209, 2019.

SHIRALKAR, Kedar; BONGALE, Arunkumar; KUMAR. Issues with decision making methods for supplier segmentation in supplier relationship management: A literature review. **Materials today: proceedings**, v. 50, p. 1786-1792, 2022.

BORGES, William Viana *et al.* A Hesitant Fuzzy Linguistic TOPSIS Model to Support Supplier Segmentation [Proposta de um Modelo Hesitant Fuzzy Linguistic TOPSIS para Segmentação de Fornecedores]. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 26, 2022.

BORGES, William Viana; JUNIOR, Francisco Rodrigues Lima. Modelos de Suporte à Decisão para Segmentação de fornecedores: uma Revisão Sistemática da Literatura. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção (CONBREPRO)**. 2020.

BOUJELBEN, Mohamed Ayman. A unicriterion analysis based on the PROMETHEE principles for multicriteria ordered clustering. **Omega**, v. 69, n.1, p. 126-140, 2017.

BOWERSOX, Donald J. *et al.* **Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos**. Porto Alegre: AMGH, 2014.

BROWN, Adam J. **Development of a supplier segmentation method for increased resilience and robustness: A study using agent based modeling and simulation**. 2017. 224 f. Dissertação (Doutorado em Filosofia) - College of Engineering at the University of Kentucky.

CAUSIL, Over Manuel Montes; MORAIS, Danielle Costa. Food supplier sorting model for strategic supply chain sustainable development. **Business Strategy and the Environment**, v. 32, n. 7, p. 4103-4118, 2023.

CHE, Z. H. Clustering and selecting suppliers based on simulated annealing algorithms. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 63, n. 1, p. 228-238, 2011.

CHEN, Sai *et al.* Resilience of China's oil import system under external shocks: A system dynamics simulation analysis. **Energy Policy**, v. 146, p. 111795, 2020.

CHRISTOPHER, Martin; PECK, Helen. Building the resilient supply chain. **International Journal of Logistics Management**, v. 15, n. 2, p. 1-14, 2004.

CROSBY, Michael *et al.* Blockchain technology: Beyond bitcoin. **Applied Innovation**, v. 2, n. 6-10, p. 71, 2016.

DAVIS, Ernest; MARCUS, Gary. The scope and limits of simulation in automated reasoning, **Artificial Intelligence**, v. 233, p. 60-72, 2016.

DAY, Marc; MAGNAN, Gregory M.; MOELLER, Morten Munkgaard. Evaluating the bases of supplier segmentation: A review and taxonomy. **Industrial Marketing Management**, v. 39, n. 4, p. 625-639, 2010.

DEMIR, Leyla *et al.* A green supplier evaluation system based on a new multi-criteria sorting method: VIKORSORT. **Expert Systems with Applications**, v. 114, n. 1, p. 479-487, 2018.

DOLGUI, Alexandre; IVANOV, Dmitry; SOKOLOV, Boris. Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1-2, p. 414-430, 2018.

DUC, Do Anh *et al.* A dynamic generalized fuzzy multi-criteria group decision making approach for green supplier segmentation. **Plos one**, v. 16, n. 1, p. e0245187, 2021.

DÍAZ, Raymundo *et al.* A new hierarchical multiple criteria ordered clustering approach as a complementary tool for sorting and ranking problems. **Omega**, v. 117, p. 102820, 2023.

FALASCA, Mauro; ZOBEL, Christopher W.; COOK, Deborah. A Decision Support Framework to Assess Supply Chain Resilience. In: **Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference**. p. 596-605, 2008.

FELTRIN MARCHINI, Daniela Maria; DE CAMARGO JUNIOR, João Batista; IGNACIO PIRES, Silvio Roberto. Análise sobre a Contribuição da Tecnologia 'Blockchain' na Gestão da Cadeia de Suprimentos. *Teoria e Prática em Administração*, v. 10, n. 2, p. 154-168, Julho-Dezembro, 2020.

GENG, Xiuli; JIN, Yunting; ZHANG, Yongzheng. A Novel Group Decision-Making Approach for Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets and Its Application to VIKOR. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2020, p. 1–20, 2020.

GÖKLER, Seda Hatice; BORAN, Semra. A novel resilient and sustainable supplier selection model based on 55 D-AHP and DEMATEL methods. **Journal of Engineering Research**, 2023.

HAGHIGHI, Pegah Sagheb; MORADI, Mahmoud; SALAHI, Maziar. Supplier segmentation using fuzzy linguistic preference relations and fuzzy clustering. **International Journal of Intelligent Systems and Applications**, v. 6, n. 5, p. 76, 2014.

HASELI, Gholamreza *et al.* A novel approach for group decision making based on the best–worst method (G-bwm): Application to supply chain management. **Mathematics**, v. 9, n. 16, p. 1881, 2021.

HIDAYAT, Wakhid Nur; YUNITASARI, Elly Wuryaningtyas; PRASETYO, Patrisius Edi. Evaluation and Segmentation of Printing Accessories Suppliers Based on the Integration of the Best Worst Method and Fuzzy TOPSIS (Case Study at PT. Udaka Indonesia). **OPSI**, v. 14, n. 2, p. 146-153, 2021.

HONG, Soo Jeong *et al.* Drivers of supplier participation in ride-hailing platforms. **Journal of management information systems**, v. 37, n. 3, p. 602-630, 2020.

HUANG, Jia *et al.* New approach for quality function deployment based on proportional hesitant fuzzy linguistic term sets and prospect theory, **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 5, p. 1283-1299, 2019.

HUNG, Ming-Lung; MA, Hwong-wen; YANG, Wan-Fa. A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management. **Waste Management**, London, vol. 27, p. 209–219, 2007.

JHARKHARIA, Sanjay; DAS, Chiranjit. Low carbon supplier development: A fuzzy c-means and fuzzy formal concept analysis based analytical model. **Benchmarking: An International Journal**, v.26, n.1, p. 73-96, 2019.

KATSALIAKI, Korina; GALETSI, Panagiota; KUMAR, Sameer. Supply chain disruptions and resilience: A major review and future research agenda. **Annals of Operations Research**, p. 1-38, 2021.

KAUR, Harpreet; SINGH, Surya Prakash. Multi-stage hybrid model for supplier selection and order allocation considering disruption risks and disruptive technologies. **International Journal of Production Economics**, v. 231, p. 107830, 2021.

KESKIN, Fatma Demircan; KAYMAZ, Yunus. Machine learning in supply chain management: a risk based supplier segmentation application. In: UNVAN, Y. A. **Business studies and new approaches**, p.139-161, 2021.

KONTIO, Jyrki; CONRADI, Reidar (Ed.). **Software Quality-ECSQ 2002: Quality Connection-7th European Conference on Software Quality, Helsinki, Finland, June 9-13, 2002. Proceedings**. Springer Science & Business Media, 2002.

KRALJIC, P. Purchasing must become supply chain management. **Harvard Business Review**, September-October. 1983.

KUSUMASTUTI, Muningrumand Ratih Dyah *et al.* Categorizing Suppliers in an Indonesian Shipping Company Using Kraljic's Portfolio Model. In: 2nd South American Conference on Industrial Engineering and Operations Management, IEOM 2021. **IEOM Society**, 2021. p. 1683-1691.

LAMBERT, Douglas M.; COOPER, Martha C.; PAGH, Janus D. Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities. **The International Journal of Logistics Management**, v. 9, n. 2, p. 1-20, 1998.

LAMBERT, Douglas M.; SCHWIETERMAN, Matthew A. Supplier relationship management as a macro business process. **Supply Chain Management**, v. 17, n. 3, p. 337-352, 2012.

LI, Y. L. *et al.* A Multi-Agent Digital Twin–Enabled Decision Support System for Sustainable and Resilient Supplier Management. **Computers & Industrial Engineering**, p. 109838, 2023.

LIAO, Huchang; XU, Zeshui. A VIKOR-based method for hesitant fuzzy multi-criteria decision making. **Fuzzy Optimization and Decision Making**, v. 12, n. 4, p. 373–392, 2013.

LIAO, Huchang; XU, Zeshui; ZENG, Xiao-Jun. Distance and similarity measures for hesitant fuzzy linguistic term sets and their application in multi-criteria decision making. **Information Sciences**, v. 271, p. 125–142, 2014.

LIAO, Huchang; XU, Zeshui; ZENG, Xiao-Jun. Hesitant Fuzzy Linguistic VIKOR Method and Its Application in Qualitative Multiple Criteria Decision Making. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 23, n. 5, p. 1343–1355, 2015.

LIMA, Francisco Rodrigues; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, v. 22, p. 17-34, 2015.

LIMA-JUNIOR, Francisco Rodrigues; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. A multi-criteria approach based on fuzzy QFD for choosing criteria for supplier selection. **Computers & Industrial Engineering**, v. 101, p. 269-285, 2016.

LO, Shih-Che; SUDJATMIKA, Fransiskus Verdian. Solving multi-criteria supplier segmentation based on the modified FAHP for supply chain management: a case study. **Soft Comput**, v. 20, p. 4981–4990, 2016.

MARI, Sonia Irshad *et al.* Interactive fuzzy multi criteria decision making approach for supplier selection and order allocation in a resilient supply chain. **Mathematics**, v. 7, n. 2, p. 137, 2019

MATSHABAPHALA, Ntebaleng S.; GROBLER, Jacomine . Supplier segmentation: a case study of mozambican cassava farmers. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 32, n. 1, p. 196-209, 2021.

MAVI, Reza Kiani *et al.* Clustering sustainable suppliers in the plastics industry: A fuzzy equivalence relation approach. **Journal of Environmental Management**, v. 345, p. 118811, 2023.

MEDEIROS, Marlene; FERREIRA, Luciano. Development of a purchasing portfolio model: an empirical study in a Brazilian hospital. **Journal Production Planning & Control**, v.29, n.7, p.571-585, 2018.

MENTZER, John T. *et al.* Defining supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.

NAZARI-SHIRKOUHI, Salman *et al.* A hybrid approach using Z-number DEA model and Artificial Neural Network for Resilient supplier Selection. **Expert Systems with Applications**, v. 222, p. 119746, 2023.

NAZLI WASTI, S.; KAMIL KOZAN, M.; KUMAN, Ayca. Buyer-supplier relationships in the Turkish automotive industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 9, p. 947-970, 2006.

OLIVEIRA, Mery Ellen Brandt de. **Comparação entre métodos hesitant Fuzzy linguistic Vikor no contexto de seleção de fornecedores**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ONAR, Sezi Çevik *et al.* A new hesitant fuzzy QFD approach: An application to computer workstation selection. **Applied Soft Computing**, v. 46, p. 1–16, 2016.

OPRICOVIC, Serafim. Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems. **Faculty of civil engineering, Belgrade**, v. 2, n. 1, p. 5-21, 1998.

OPRICOVIC, Serafim; TZENG, Gwo-Hshiung. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. **European Journal of Operational Research**, v. 156, n. 2, p. 445–455, 2004.

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

OSIRO, Lauro; LIMA-JUNIOR, Francisco Rodrigues; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. A group decision model based on quality function deployment and hesitant fuzzy for selecting supply chain sustainability metrics. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 964-978, 2018.

OWUSU-BEMPAH, G. *et al.* The Importance of Supplier Segmentation to the Manufacturing Sector of Ghana. **Industrial Engineering Letters**, v. 3, n. 2, 2013.

PARK, Jongkyung *et al.* An integrative framework for supplier relationship management. **Industrial Management & Data Systems**, v.110, n.4, p.495-515, 2010.

PARKOUHI, Sahar Valipour; GHADIKOLAEI, Abdolhamid Safaei; LAJIMI, Hamidreza Fallah. Resilient supplier selection and segmentation in grey environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 1123-1137, 2019.

PONOMAROV, Serhiy Y.; HOLCOMB, Mary C. Understanding the concept of supply chain resilience. **The International Journal of Logistics Management**, v. 20, n.1, p.124-143, 2009.

PAWLICKA, Kinga; BAL, Monika. Sustainable Supply Chain Finances implementation model and Artificial Intelligence for innovative omnichannel logistics. **Management**, v. 26, n. 1, p. 19-35, 2022.

PAYBARJAY, Hossein; FALLAH LAJIMI, Hamidreza; HASHEMKHANI ZOLFANI, Sarfaraz. An investigation of supplier development through segmentation in sustainability dimensions. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-35, 2023.

RAHIMINIA, Mohammad *et al.* Cluster-based supplier segmentation: a sustainable data-driven approach. **Modern Supply Chain Research and Applications**, v. 5, n. 3, p. 209-228, 2023.

RAHMAN, Towfique *et al.* Supply chain resilience initiatives and strategies: A systematic review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 170, p. 108317, 2022.

RAJESH, G.; RAJU, R. A fuzzy inference approach to supplier segmentation for strategic development. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 32, n. 1, p. 44-55, 2021.

RAJESH, R.; RAVI, V. Supplier selection in resilient supply chains: a grey relational analysis approach. **Journal of cleaner production**, v. 86, p. 343-359, 2015.

RAMEZANI, Mohsen *et al.* An empirical study on characteristics of supply in e-hailing markets: a clustering approach, **Transportation Letters**, p. 1-14, 2022.

RESENDE, Carlos Henrique Lopes. **Proposição de um modelo de decisão multicritério para seleção de fornecedores no contexto da indústria 4.0.** 2020. Dissertação de Mestrado em Gestão das Organizações, Ramo de Gestão de Empresas. Instituto Politécnico de Bragança (Portugal).

RESTREPO, Rodrigo; VILLEGAS, Juan G. Supplier evaluation and classification in a Colombian motorcycle assembly company using data envelopment analysis. **Academia Revista Latinoamericana de Administración**, v.32, n.2, p.159-180, 2019.

REZAEI, Jafar; FALLAH LAJIMI, Hamidreza. Segmenting supplies and suppliers: bringing together the purchasing portfolio matrix and the supplier potential matrix. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v.22, n.4, p.419-436, 2019.

REZAEI, Jafar; ORTT, Roland. Supplier segmentation using fuzzy logic. **Industrial Marketing Management**, v. 42, n. 4, p. 507-517, 2013.

REZAEI, Jafar; ORTT, Roland. Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy preference relations based AHP. **European Journal of Operational Research**, v.225, n.1, p.75-84, 2013.

REZAEI, Jafar *et al.* Embedding carbon impact assessment in multi-criteria supplier segmentation using ELECTRE TRI-rC. **Annals of Operations Research**, v. 312, p. 1445–1467, 2022.

REZAEI, Jafar; WANG, Jing; TAVASSZY, Lori. Linking supplier development to supplier segmentation using Best Worst Method. **Expert Systems with Applications**, v.42, n.23, p.9152-9164, 2015.

RIUS-SOROLLA, Gregorio; ESTELLES-MIGUEL, Sofia; RUEDA-ARMENGOT, Carlos. Multivariable supplier segmentation in sustainable supply chain management. **Sustainability**, v. 12, n. 11, 2020.

RODRÍGUEZ, Rosa M.; MARTINEZ, Luis; HERRERA, Francisco. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 20, n. 1, p. 109-119, 2012.

SABOUI, Fatemeh; JABBARZADEH, Armin; FAHIMNIA, Behnam. Resilient and sustainable supply chain design: Sustainability analysis under disruption risks. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 17, p. 5945–5968, 2018.

SANTOS, Luiz Felipe de Oliveira Moura; OSIRO, Lauro; LIMA, Rafael Henrique Palma. A model based on 2-tuple fuzzy linguistic representation. A model based on 2-tuple fuzzy linguistic representation and Analytic Hierarchy Process for supplier segmentation using qualitative and quantitative criteria. **Expert systems with applications**, v.79, p.53-64, 2017.

SAWIK, Tadeusz. Optimization of cost and service level in the presence of supply chain disruption risks: Single vs. multiple sourcing. **Computers & Operations Research**, v. 51, p. 11–20, 2014.

SCAVARDA, Luiz Felipe *et al.* ; CERYNO, P. S.; PIRES, S.; Klingebiel, K.. Supply chain resilience analysis: a Brazilian automotive case. **Revista de Administração de Empresas**, v. 55, n.3, p. 304-313, 2015.

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

SHIRALKAR, Kedar *et al.* An intelligent method for supply chain finance selection using supplier segmentation: A payment risk portfolio approach. **Cleaner Logistics and Supply Chain**, v. 8, p. 100115, 2023.

SÓS, Eszter; FÖLDESI, Péte. Application of the QFD Technique Method in Logistics Strategy. **Acta Polytechnica Hungarica**, v. 20, n. 2, 2023.

SVENSSON, Göran. Supplier segmentation in the automotive industry: A dyadic approach of a managerial model. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 34, n. 1, p. 12–38, 2004.

TAGHIPOUR, Atour *et al.* Criteria Clustering and Supplier Segmentation Based on Sustainable Shared Value Using BWM and PROMETHEE. **Sustainability**, v. 15, n. 11, p. 8670, 2023.

TORRA, Vicenç. Hesitant Fuzzy Sets. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 25, n. 6, p. 529-539, 2010.

TORRES-RUIZ, Aineth; RAVINDRAN, A. Ravi. Multiple Criteria Framework for the Sustainability Risk Assessment of a Supplier Portfolio. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 4478-4493, 2018.

UDDIN, Jamal *et al.* A novel rough value set categorical clustering technique for supplier base management. **Computing**, v. 103, n. 9, p. 2061-2091, 2021.

UTTARWAR, Harshvardhan. Analytics for Supply Chain Optimisation. 2021.

WAGNER, Stephan M.; NESHAT, Nikrouz. A comparison of supply chain vulnerability indices for different categories of firms. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 11, p. 2877–2891, 2012.

WISSUWA, Florian; DURACH, Christian F.; CHOI, Thomas Y. Selecting resilient suppliers: Supplier complexity and buyer disruption. **International Journal of Production Economics**, v. 253, p. 108601, 2022.

WOODS, David D. Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 5-9, 2015.

WU, Zhibin *et al.* Two MAGDM models based on hesitant fuzzy linguistic term sets with possibility distributions: VIKOR and TOPSIS. **Information Sciences**, v. 473, p. 101–120, 2019.

XU, Xiaolong *et al.* Reputation-aware supplier assessment for blockchain-enabled supply chain in industry 4.0. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 19, n. 4, p. 5485-5494, 2022.

YALCIN, Ahmet Selcuk; KILIC, Huseyin Selcuk; CEVIKCAN, Emre. A novel strategy segmentation methodology integrating Kraljic portfolio matrix and supplier

relationship model: a case study from machinery industry. Benchmarking: **An International Journal**, n. ahead-of-print, 2023.

YANG, Qingchun *et al.* Application of house of quality in evaluation of low rank coal pyrolysis polygeneration technologies. **Energy conversion and management**, v. 99, p. 231-241, 2015.

YAZDANI, Morteza; GRAEML, Felipe R. VIKOR and its Applications: A State-of-the-Art Survey. **International Journal of Strategic Decision Sciences**, v. 5, n. 2, p. 56-83, 2014.

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

ZHANG, Nian; WEI, Guiwu. Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 7, p. 4938–4947, 2013.

ZHANG, Ping *et al.* DEMATEL technique: A systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications, **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2018, p. 1-33, 2018.

ZSIDISIN, George A.; RITCHIE, Bob. Supply chain risk management–developments, issues and challenges. In: **Supply chain risk: A handbook of assessment, management, and performance**. Boston, MA: Springer US, 2009. p. 1-12.

Site da epígrafe:

<https://www.pensador.com/frase/MTEwNzgxMQ/>

Acessado em 10/10/2024.

APÊNDICE A - ROTEIRO PARA COLETA DE DADOS

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO (PPGA) CAMPUS CURITIBA

FORMULÁRIO PARA COLETA DE DADOS PARA APLICAÇÃO SIMULADA DE UM MODELO DE AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES

Mestrando: Yves Nzamba (yves.nzamba@gmail.com; 41-991836924)

Título do trabalho de pesquisa: Um modelo para segmentação de fornecedores resilientes baseado em *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets* combinados com QFD (*Quality Function Deployment*) e VIKOR (*ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*).

Orientador: Prof. Dr. Francisco Rodrigues Lima Jr.

Página do grupo de pesquisa: <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/293528>

1. INTRODUÇÃO

A gestão eficaz e estratégica de cadeia de suprimentos resilientes tem o potencial de garantir a continuidade das atividades nas organizações, lidando melhor com os distúrbios de abastecimento. Por sua vez, a segmentação de fornecedores é uma ferramenta de apoio na definição de relações apropriadas entre a empresa compradora e alguns grupos específicos de fornecedores. Com isso, o presente trabalho objetiva principalmente propor um modelo de suporte à tomada de decisão para agrupar os fornecedores a partir de critérios relativos à resiliência, com base em um método de decisão multicritério voltado para decisões em grupo sob incerteza e hesitação. Além disso, o estudo desenvolve especificamente uma aplicação piloto utilizando dados reais coletados em uma empresa por meio de uma equipe de decisores para fins de testes de validação do modelo proposto.

O presente formulário colabora com a coleta de dados da empresa participante do teste piloto da pesquisa. Os dados são compostos pelos julgamentos

linguísticos dos especialistas indicados pela empresa e envolvidos com a Gestão de fornecedores. Cada especialista irá: escolher os requisitos e critérios; avaliar a importância dos requisitos; avaliar os relacionamentos entre os requisitos e critérios; e atribuir julgamentos para permitir a avaliação dos fornecedores escolhidos. Estes dados servirão de entrada para o modelo de segmentação proposto, o qual permitirá além da identificação dos fornecedores resilientes, a elaboração de estratégias de desenvolvimento dos fornecedores avaliados de acordo com os grupos aos quais os mesmos pertencem.

Segundo Ponomarov e Holcomb (2009), a palavra resiliência representa a capacidade de um sistema de retornar ao seu estado inicial e conservar íntegra a sua natureza após sofrer uma deformação elástica. Falasca *et al.* (2008) declararam também que a resiliência tem o potencial de reduzir a probabilidade e o impacto de uma interrupção, além de diminuir o tempo de recuperação para o desempenho normal. Em relação aos fornecedores resilientes, Rajesh e Ravi (2015, p. 345) definiram os mesmos como “fornecedores capazes de fornecer produtos de boa qualidade a preços econômicos e flexíveis o suficiente para acomodar flutuações de demanda com prazos de entrega mais curtos em um ambiente de menor risco, respeitando a segurança e o meio ambiente”.

2. DEFINIÇÃO DA EQUIPE DOS DECISORES PELA EMPRESA

Especificar na Tabela 1 a quantidade de decisores, a quantidade de fornecedores a ser avaliados e se os decisores terão o mesmo peso na avaliação dos fornecedores em questão.

Tabela 1 - Quantidade dos decisores e dos fornecedores a ser avaliados

Quantidade de decisores		Importância dos decisores	Quantidade de fornecedores	
() 1	() 6	() Igual importância () Avaliar importância*	() 1	() 6
() 2	() 7		() 2	() 7
() 3	() 8		() 3	() 8
() 4	() 9		() 4	() 9
() 5	() 10		() 5	() 10

Fonte: Autoria própria (2023).

* Em caso da avaliação da importância dos decisores, a Tabela 2 deve ser preenchida por intermédio dos termos linguísticos mostrados na Figura 1 e das expressões linguísticas exemplificadas nos Quadros 1 e 2.

Tabela 2 - Importância relativa dos decisores

Decisores	Importância
DM 1	
DM 2	
DM 3	
DM 4	
DM5	
DM6	

Fonte: Autoria própria (2023).

Em seguida, especificar na Tabela 3 os setores, os cargos e tempos nas funções dos decisores. Devido à proteção de dados, os decisores são identificados como DM (*Decision Maker*) para garantir o anonimato da pesquisa.

Tabela 3 - Equipe dos decisores

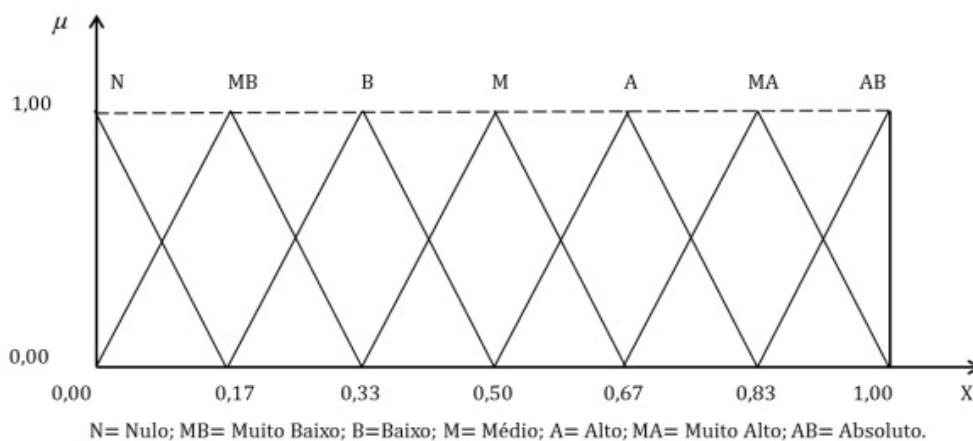
Decisores	Setores	Cargos	Tempo no cargo
DM 1			
DM 2			
DM 3			
DM 4			
DM5			
DM6			

Fonte: Autoria própria (2023).

3. JULGAMENTOS DOS DECISORES

Os julgamentos são feitos com base no conjunto de sete termos linguísticos mostrados na Figura 1 e das expressões linguísticas exemplificadas nos Quadros 1 e 2.

Figura 1 – Conjunto *fuzzy* de sete termos e expressões linguísticas



Fonte: Resende (2020, p. 53), adaptado de Rodríguez *et al.* (2012, p.110).

Quadro 1 - Exemplos de expressões linguísticas a serem usadas na avaliação dos requisitos, critérios e alternativas

Expressão	Exemplo de uso	Termos linguísticos ativados
“No máximo...”	No máximo alto	[MB, B, M, A]
“Menor que...”	Menor que alto	[MB, B, M]
“Pelo menos...”	Pelo menos baixo	[B, M, A, MA, AB]
“Maior que...”	Maior que médio	[A, MA, AB]
“Entre... e ...”	Entre baixo e alto	[B, M, A]

Fonte: Adaptado de Resende (2020, p. 54).

Quadro 2 – Abreviação dos julgamentos linguísticos

Julgamentos linguísticos utilizados na aplicação real	Abreviação
Nenhum (ou Nulo)	N
Muito baixo	MB
Baixo	B
Médio	M
Alto	A
Muito alto	MA
Absoluto	AB

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022).

4. ESCOLHA E AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS

Assinalar os requisitos iniciais esperados de um fornecedor resiliente, além de alguns atributos tradicionais de suprimentos, por meio do Quadro 3. Novos requisitos podem ser inseridos pelos decisores de acordo com a realidade da empresa participante do estudo.

Quadro 3 - Lista dos requisitos de resiliência dos fornecedores

Requisitos de resiliência dos fornecedores			
()	Visibilidade	()	Histórico de desempenho
()	Análise de dados	()	Qualidade
()	Agilidade	()	Capacidade tecnológica
()	Estrutura	()	Consciência dos riscos
()	Velocidade	()	Gestão de inventário
()	Planejamento de continuidade de negócios	()	Pontualidade de Entrega
()	Poder e dependência	()	
()	Colaboração	()	
()	Treinamento e aprendizado	()	
()	Redundância	()	
()	Flexibilidade	()	

Fonte: Autoria própria (2023).

Em seguida, avaliar no Quadro 4 a importância dos requisitos usando os termos linguísticos apresentados na Figura 1 e nos Quadros 1 e 2.

Quadro 4 - Avaliação da importância dos requisitos

Requisitos	Avaliação do decisor

Fonte: Autoria própria (2023).

5. AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Nos Quadros 5 e 6, assinalar os fatores pertencentes às dimensões “intensificadores de resiliência” e “redutores de resiliência” respectivamente. Os decisores poderão adicionar novos critérios caso julguem necessário.

Quadro 5 - Lista dos fatores intensificadores de resiliência dos fornecedores

Fatores intensificadores de resiliência dos fornecedores			
()	<i>Lead Time</i> de Pedidos	()	Flexibilidade
()	Customização	()	Estoque excedente
()	Flexibilidade de Processos	()	
()	<i>Yield Rate</i> (Taxa de rendimento)	()	
()	Sentimento de Confiança	()	
()	Atitude Gerencial para o Futuro	()	
()	Nível de Colaboração	()	
()	Segurança	()	
()	Controles e Programas Ambientais	()	
()	Visibilidade	()	
()	Variação de Preço	()	
()	Proximidade de Relacionamento	()	
()	Nível de tecnologia	()	
()	Capacidade de resposta	()	
()	Agilidade	()	

Fonte: Autoria própria (2023).

Quadro 6 - Lista dos fatores redutores de resiliência dos fornecedores

Fatores redutores de resiliência dos fornecedores			
()	Limite de Capacidade	()	
()	Tempo para formar o relacionamento	()	
()	Dificuldades de Aquisição de Matéria-Prima	()	
()	Custo do Frete	()	
()	Vulnerabilidade	()	
()	Risco Financeiro	()	
()	Poder de Negociação	()	
()	Histórico de Mau Desempenho e Reputação	()	
()	Complexidade da estrutura interna e dos vínculos colaborativos com outros fornecedores	()	
()		()	
()		()	
()		()	
()		()	

Fonte: Autoria própria (2023).

Depois da escolha dos critérios iniciais, os decisores avaliam individualmente a intensidade de relacionamento entre cada critério e cada requisito usando as Tabelas 4 e 5, por meio de julgamentos linguísticos exemplificados na Figura 1 e nos Quadros 1 e 2.

Tabela 4 - Intensidade de relacionamento entre requisitos e critérios da dimensão intensificadores de resiliência

Intensidade de Relacionamento entre Requisitos e Critérios									
Critérios escolhidos	Requisitos de resiliência de fornecimento								

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 5 - Intensidade de relacionamento entre requisitos e critérios da dimensão redutores de resiliência

Intensidade de Relacionamento entre Requisitos e Critérios									
Critérios escolhidos	Requisitos de resiliência de fornecimento								

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 7 - Atribuição de julgamentos linguísticos para os fornecedores na dimensão "intensificadores de resiliência"

Desempenho dos fornecedores_Dimensão “intensificadores de resiliência”						
Critérios escolhidos	Julgamentos linguísticos em relação aos fornecedores					

Fonte: Autoria própria (2023).