

## PROPOSTA DE UM MODELO HESITANT FUZZY LINGUISTIC TOPSIS PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE FORNECEDORES

**LUCIAN MASCHIO DE SOUZA**

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR)

**ANDREA SOUZA**

**FABIO NEVES PUGLIERI**

**FRANCISCO RODRIGUES LIMA JUNIOR**

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR)

### Introdução

A literatura apresenta vários modelos quantitativos para apoiar problemas de tomada de decisão multicritério relacionados ao gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos. Porém, enquanto a maioria deles é voltado para a seleção de fornecedores sustentáveis, o monitoramento do desempenho de fornecedores após a contratação tem sido pouco estudado. Foram identificados apenas 13 modelos de tomada de decisão baseados no Triple Bottom Line (TBL), ou seja, que consideram simultaneamente aspectos econômicos, ambientais e sociais para apoiar a avaliação do desempenho de fornecedores.

### Problema de Pesquisa e Objetivo

Por meio da pesquisa bibliográfica realizada, constatou-se que: a) São escassos os modelos que apoiam a avaliação do desempenho de fornecedores, com base nos critérios econômicos, ambientais e sociais; b) Ainda que existam modelos que permitam aos decisores expressar suas avaliações usando termos linguísticos, os modelos encontrados não são adequados quando há hesitação, ou seja, quando eles não se sentem confortáveis ao escolher um único termo. O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo decisório, baseado no método HFL-TOPSIS, para apoiar a avaliação da sustentabilidade de fornecedores

### Fundamentação Teórica

Os modelos para avaliação da sustentabilidade de fornecedores envolvem critérios quantitativos e critérios qualitativos (Li; Fang; Song, 2018). Dependendo do contexto, os critérios possuirão diferentes níveis de importância. Esses pesos e as pontuações das alternativas são definidos com base nos julgamentos de um ou mais gestores, resultando numa dificuldade para elencá-los de maneira adequada (Liu et al., 2019). Assim, fazem-se necessárias ferramentas de decisão multicritério para ponderar os critérios, analisar os fornecedores e classificá-los de acordo com o desempenho alcançado.

### Metodologia

Esse estudo pode ser classificado como uma pesquisa quantitativa baseada em modelagem e simulação. Por ser uma pesquisa axiomática normativa, está interessada em desenvolver estratégias, políticas e ações para melhorar os resultados encontrados na literatura. As etapas desse estudo incluíram pesquisa bibliográfica, modelagem computacional, aplicação piloto em uma empresa do setor de eletroeletrônicos e análise de resultados. A implementação de quatro modelos computacionais com base no HFL-TOPSIS (Beg; Rashid, 2013) foi feita usando o software Microsoft Excel.

### Análise dos Resultados

A aplicação piloto realizada demonstrou que o modelo pode ser facilmente utilizado e é capaz de fornecer resultados consistentes e facilmente interpretáveis pelo decisor. Na aplicação em questão, os critérios econômicos receberam maior peso, o que reflete as prioridades da empresa em questão e da cadeia em que ela atua. Além disso, a avaliação de seis fornecedores por um decisor possibilitou a categorização destes em uma matriz tridimensional, fornecendo subsídios para a elaboração de programas de desenvolvimento de fornecedores.

### Conclusão

A utilização da técnica HFL-TOPSIS permitiu criar uma ferramenta capaz de modelar os julgamentos linguísticos dos gestores envolvidos na avaliação de fornecedores. O modelo proposto apoia a modelagem de preferências dos decisores de forma mais próxima à cognição humana, lidando também com situações em que há hesitação na escolha dos termos linguísticos. Outra vantagem é que o modelo proposto trata as três dimensões do TBL de forma não compensatória, ou seja, se um fornecedor alcança um desempenho alto em uma dimensão, isso não compensa um eventual desempenho baixo em outra dimensão.

### Referências Bibliográficas

BEG, I.; RASHID, T. TOPSIS for hesitant fuzzy linguistic term sets. *International Journal of Intelligent Systems*, v. 28, n. 12, p. 1162-1171, 2013. LI, J.; FANG, H.; SONG, W. Sustainability evaluation via variable precision rough set approach: A photovoltaic module supplier case study. *Journal Of Cleaner Production*, v. 192, p.751-765, 2018. LIU, Y. et al. A fuzzy decision tool to evaluate the sustainable performance of suppliers in an agrifood value chain. *Computers & Industrial Engineering*, v. 127, p.196-212, 2019.

### Palavras Chave

Avaliação da sustentabilidade de fornecedores, Hesitant Fuzzy Linguistic TOPSIS, Tomada de decisão multicritério

### Agradecimento a órgão de fomento

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ (processo 409529/2021-4) pelo financiamento deste estudo e à empresa participante do caso de aplicação.

# PROPOSTA DE UM MODELO *HESITANT FUZZY LINGUISTIC TOPSIS* PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE FORNECEDORES

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão sustentável de cadeias de suprimentos emergiu nas últimas décadas como uma das formas das organizações alcançarem vantagem competitiva. Segundo Ahi e Searcy (2015), as respectivas pressões da sociedade, de entes econômicos e, também, de *stakeholders*, estimularam a adoção de diversas práticas de gestão para redução de impactos socioambientais. Somando a isso, os consumidores, também, passaram a se preocupar, cada vez mais, com as questões ambientais e sociais (Ansari; Kant, 2017).

Ao considerar os aspectos ambientais e sociais na gestão de cadeias de suprimentos, além dos fatores econômicos tradicionalmente usados, a avaliação do desempenho de fornecedores passou a ser referenciada na literatura como avaliação da sustentabilidade ou avaliação do desempenho sustentável de fornecedores (Osiro; Costa; Lima, 2021). Essa avaliação é abordada na literatura como um problema de tomada de decisão multicritério (*Multicriteria Decision Making* - MCDM), que utiliza como informações de entrada as avaliações fornecidas por um ou mais decisores, também chamados de *Decision Makers* (DMs). Com a inclusão de critérios ambientais e sociais no escopo da avaliação, cuja medição é dificultada pela ausência de informações e pela natureza qualitativa de alguns critérios, essa avaliação se tornou ainda mais complexa (Saputro; Figueira; Almada-Lobo, 2022).

Vários autores destacam a dificuldade de se avaliar o desempenho dos fornecedores em critérios qualitativos e de atribuir pesos aos critérios usando valores numéricos, uma vez que a avaliação desses fatores por gestores, usando valores numéricos, costuma acarretar na imprecisão dos dados de entrada e, conseqüentemente, nos resultados fornecidos pelo modelo (Liu et al., 2019). Para lidar com essas dificuldades, diversas técnicas de apoio à tomada de decisões sob incerteza têm sido utilizadas (Osiro; Costa; Lima, 2021).

A literatura apresenta vários modelos quantitativos para apoiar problemas de MCDM relacionados ao gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos (Ansari; Kant, 2017). Em um estudo de revisão sistemática, Zimmer, Fröhling e Schultmann (2016) analisaram 143 artigos que propõem modelos de decisão para seleção, avaliação e desenvolvimento de fornecedores sustentáveis. Esses autores apontaram que mais de 80% dos modelos estão focados na etapa de seleção de fornecedores, e que os métodos mais utilizados são AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e o ANP (*Analytic Network Process*). A maioria desses modelos foca apenas na seleção de fornecedores e, com isso, acabam deixando de lado o estágio de avaliação de fornecedores após a contratação destes (Zimmer; Fröhling; Schultmann, 2016; Saputro; Figueira; Almada-Lobo, 2022).

Por meio de buscas nas bases *IEEE-Xplore*, *Scopus*, *Emerald Insight*, *Taylor & Francis* e *Science Direct*, Osiro, Costa e Lima (2021) identificaram apenas 9 modelos de tomada de decisão baseados no *Triple Bottom Line* (TBL), ou seja, que consideram simultaneamente aspectos econômicos, ambientais e sociais para apoiar a avaliação do desempenho de fornecedores. Com base nesse estudo e por meio da pesquisa bibliográfica realizada no presente trabalho, constatou-se que:

- a) São escassos os modelos de decisão que apoiam a avaliação do desempenho sustentável de fornecedores, após a contratação, com base nos critérios relacionados a aspectos econômicos, ambientais e sociais;
- b) Não foram encontrados modelos de avaliação de sustentabilidade de fornecedores que apoiem os DMs em situações de incerteza e hesitação (Lima; Oliveira; Resende, 2023). Ainda que existam modelos que permitam aos DMs expressar suas avaliações usando termos linguísticos (ex. “baixo” e “alto”), os modelos encontrados não são adequados quando há hesitação, ou seja, quando os DMs não se sentem confortáveis ao escolher um único termo. Em

tais situações, o uso de uma abordagem mais flexível se faz necessário. Isso é especialmente útil para lidar com ambientes em que há pouca informação disponível para tomada de decisão.

O desenvolvimento de um novo modelo, baseado no método *Hesitant Fuzzy Linguistic TOPSIS* (*Technique for Order Preference by Similiarity to Ideal Solution*), ou HFL-TOPSIS, para avaliar a sustentabilidade de fornecedores pós contratação, tem o potencial de trazer algumas contribuições para a literatura deste tema, além de poder servir de base para a criação de ferramentas computacionais de apoio a gestores baseadas em técnicas de inteligência computacional. O HFL-TOPSIS combina a abordagem de computação com palavras denominada *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets* (HFLTSS) com o método TOPSIS (Beg; Rashidi, 2013). O algoritmo do HFL-TOPSIS é capaz de gerar uma classificação dos fornecedores com base em múltiplos critérios, sem restringir o número de variáveis de entrada. Por utilizar HFLTSSs, esse método permite aos DMs o uso de expressões linguísticas que se aproximam da linguagem cotidiana e provêm maior flexibilidade na representação de julgamentos para tomada de decisão (Rodriguez; Martinez; Herrera, 2012). Todavia, não foram encontrados estudos que tenham aplicado o HFL-TOPSIS neste domínio de problema.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é desenvolver um modelo decisório, baseado no método HFL-TOPSIS, para apoiar a avaliação da sustentabilidade de fornecedores, com base em critérios ambientais, sociais e econômicos. A seção a seguir apresenta os procedimentos metodológicos adotados para o alcance desse objetivo. Os resultados são apresentados e discutidos na Seção 3, enquanto a conclusão é apresentada na Seção 4.

## 2. MÉTODO

Esse estudo pode ser classificado como uma pesquisa quantitativa baseada em modelagem e simulação. Segundo Bertrand e Fransoo (2002), esse tipo de pesquisa se baseia na hipótese de que se pode construir novos modelos quantitativos, compostos por variáveis que possuem relacionamentos causais quantificáveis, para explicar o comportamento de processos ou capturar problemas de gerência que requerem tomada de decisão. Por ser uma pesquisa axiomática normativa, está interessada em desenvolver estratégias, políticas e ações para melhorar os resultados encontrados na literatura. As etapas desse estudo são detalhadas a seguir:

**i. Pesquisa bibliográfica:** iniciou-se com a investigação de referências bibliográficas sobre avaliação da sustentabilidade de fornecedores, modelos de tomada de decisão e método HFL-TOPSIS. Foram selecionados artigos publicados nas principais bases de dados relacionadas ao tema deste estudo: *IEEE-Xplore* ([ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp](http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp)), *Scopus* ([www.scopus.com/home.uri](http://www.scopus.com/home.uri)), *Emeral Insight* ([www.emeraldinsight.com/](http://www.emeraldinsight.com/)), *Web of Science* ([www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)) e *Science Direct* ([www.sciencedirect.com/](http://www.sciencedirect.com/)), além do *Google Scholar* ([scholar.google.com.br](http://scholar.google.com.br)). Essas bases hospedam artigos científicos de periódicos sobre temas atinentes à gestão de operações, tais como gestão de cadeia de suprimentos, sustentabilidade, avaliação de fornecedores, MCDM, lógica *fuzzy*, entre outros. Para a realização das buscas, foram utilizadas as palavras-chave: *sustainable supplier evaluation*, *supplier sustainability evaluation*, *supplier assessment*, *sustainability*, *multicriteria decision methods*, *multi-criteria decision methods* e *Hesitant Fuzzy Linguistic TOPSIS*;

**ii. Modelagem:** os resultados da pesquisa bibliográfica possibilitaram a elaboração de um novo modelo de apoio à tomada de decisão capaz de orientar o processo de avaliação da sustentabilidade de fornecedores. Também foi feita a implementação de quatro modelos computacionais com base no método HFL-TOPSIS (Beg; Rashid, 2013), usando o *software Microsoft Excel*. Uma listagem de possíveis critérios ambientais, sociais e econômicos foi construída a partir dos modelos prévios mostrados no Quadro 1. Já a matriz tridimensional para classificação de fornecedores foi construída com base em Lajmi (2021);

**iii. Aplicação:** a aplicação piloto do modelo foi feita em uma empresa de médio porte que atua no setor de eletroeletrônicos. Um gestor da área de gestão da qualidade, que é graduado em

Engenharia de Produção e pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho, com 18 anos de atuação na empresa, foi indicado pela direção da empresa para fornecer as informações necessárias à aplicação do modelo. Ao atuar como decisor nesse estudo, o gestor escolheu os critérios de avaliação de fornecedores, atribuiu pesos a estes critérios e avaliou seis fornecedores da empresa com base em cada critério escolhido. Os critérios foram definidos a partir da listagem do Quadro 1, levando também em consideração os indicadores já utilizados pela empresa para avaliação de fornecedores. A escala linguística utilizada para avaliar os critérios e os fornecedores foi baseada em Rodriguez, Martínez e Herrera (2012);

**iv. Análise e discussão dos resultados:** os resultados obtidos na aplicação foram tabulados e analisados. Também foram apresentados ao gestor da empresa ao final da aplicação, com o propósito de se obter um *feedback* sobre os resultados da classificação. Por último, a partir da comparação das características do modelo com estudos prévios, foram identificadas as contribuições do modelo proposto.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Avaliação da Sustentabilidade de Fornecedores

Nas últimas duas décadas, o pensamento em sustentabilidade ganhou força. Para Linton, Klassen e Jayaraman (2007), o conceito de sustentabilidade se refere à alocação dos recursos com o intuito de suprir as necessidades do momento, do agora, sem comprometer a habilidade das gerações futuras de satisfazerem a sua própria necessidade. Já para Vanalle e Santos (2014), sustentabilidade é a busca pelo desenvolvimento economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente correto.

Dentro dessa esfera, o gerenciamento sustentável tem como base o *Triple Bottom Line* (TBL), mais conhecido como o tripé da sustentabilidade (Vanalle; Santos, 2014). O TBL foi desenvolvido pelo sociólogo e consultor britânico John Elkington, quem subdivide o desempenho da organização em três dimensões: social, ambiental e econômico (Zimmer; Fröhling; Schultmann, 2016). No que tange ao aspecto social, seus benefícios se relacionam ao capital humano, como salários justos, adequação e conformidade à legislação trabalhista, além de proporcionar um ambiente de trabalho favorável, com base na saúde e segurança dos funcionários. Já no aspecto ambiental, o gerenciamento sustentável ressalta que os ganhos são atingidos quando uma organização consegue administrar os impactos ambientais devido à sua atividade econômica. A dimensão econômica do TBL menciona a produção, distribuição e consumo dos produtos e de serviços ofertados, além do mais importante a ser levado em consideração, o lucro (Ahi; Searcy, 2015; Osiro; Costa; Lima, 2021).

A avaliação da sustentabilidade dos fornecedores envolve o monitoramento contínuo no que diz respeito ao cumprimento de pré-requisitos da empresa compradora. Essa avaliação ajuda a identificar potenciais pontos de melhorias entre os fornecedores. Também auxilia na identificação daqueles que precisam de mais cuidado ou que devem ser substituídos (Osiro; Costa; Lima, 2021). Além disso, subsidia a elaboração de programas de desenvolvimento que visam melhorar as capacidades dos fornecedores em termos de sustentabilidade, produtividade e custo benefício (Ansari; Kant, 2017).

Os fatores relacionados ao TBL podem ser utilizados como critérios de avaliação em problemas de decisão relacionados à gestão de cadeias de suprimentos sustentáveis (Zimmer; Fröhling; Schultmann, 2016). Tanto na literatura acadêmica quanto na prática empresarial, a avaliação de sustentabilidade não está tão solidificada quanto a avaliação tradicional, feita por meio de características como: qualidade, entrega, preço, custo e serviço (Osiro; Costa; Lima, 2021). Para apoiar os processos de avaliação da sustentabilidade de fornecedores considerando múltiplos critérios, diversos modelos quantitativos de apoio à decisão foram propostos na literatura. A seção a seguir discute esses modelos.

### 3.2 Modelos de Tomada de Decisão para Avaliação da Sustentabilidade de Fornecedores

Os modelos de tomada de decisão para avaliação da sustentabilidade de fornecedores envolvem concomitantemente critérios quantitativos e critérios qualitativos. Esses critérios podem englobar aspectos financeiros ou não financeiros, e fatores operacionais e estratégicos relacionados ao desempenho e às capacidades dos fornecedores (Li; Fang; Song, 2018).

Dependendo do contexto em que a cadeia de suprimentos está inserida, os critérios possuirão diferentes níveis de importância (ou pesos). Esses pesos geralmente são definidos com base em julgamentos subjetivos dos gestores envolvidos no problema, resultando numa dificuldade para elencá-los de maneira adequada (Liu et al., 2019). Assim, fazem-se necessárias ferramentas ponderar os critérios, analisar os fornecedores e classificá-los de acordo com o desempenho alcançado. Os métodos de MCDM servem como um conjunto de ferramentas para trabalhar com decisões difíceis, em casos de incerteza e complexidade, além de objetivos conflitantes (Zhou et al., 2016)

Com base na revisão de literatura realizada por este estudo, foram identificados 13 modelos quantitativos, baseados em métodos MCDM, para apoiar a avaliação da sustentabilidade de fornecedores. O Quadro 1 apresenta os estudos encontrados e descreve as técnicas e os critérios utilizados em cada modelo. Esse quadro não inclui modelos para seleção de fornecedores sustentáveis, que são mais frequentes na literatura. Constatou-se que a maioria dos modelos fornece apenas um ranqueamento de fornecedores, pois somente os modelos propostos por Baskaran, Nachiappan e Rahman (2012) e Osiro, Costa e Lima (2021) categoriza os fornecedores avaliados, agrupando aqueles com desempenho similar.

Como a avaliação da sustentabilidade de fornecedores costuma ser feita com base nos julgamentos de especialistas e envolve diversos critérios cuja avaliação é qualitativa ou imprecisa, a maioria dos modelos existentes são baseados em abordagens voltadas para decisões sob incerteza, como AHP e técnicas baseadas na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, *Type-2 Fuzzy Sets*, *Fuzzy 2-tuple*, *Grey Systems* e *Rough Set Theory*. Dentre as técnicas identificadas, AHP, *Fuzzy TOPSIS* e *Fuzzy AHP* estão entre as mais utilizadas nesse domínio de problema.

Para lidar com situações em que os DMs hesitam ao escolher um termo linguístico dentre um conjunto de termos predefinidos, devido ao alto grau de incerteza e à ausência de informações completas para tomada de decisão, recentemente surgiram métodos baseados em conjuntos HFTLSs (*Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets*). Em um estudo de revisão sistemática da literatura, Lima, Oliveira e Resende (2023) identificaram 34 aplicações de técnicas HFTLSs na área de gestão de cadeias de suprimentos, sendo que nenhuma delas é voltada para a avaliação da sustentabilidade de fornecedores. Segundo Rodriguez, Martínez e Herrera (2012), a adoção de métodos baseados em HFTLSs permite aos DMs manifestar suas respectivas opiniões utilizando expressões linguísticas como “entre alto e muito alto” e “pelo menos médio”, o que não é possível utilizando Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, *Type-2 Fuzzy Sets*, *Fuzzy 2-tuple*, *Grey Systems* e *Rough Set Theory*.

Um método de MCDM baseado em HFTLSs, de fácil aplicação, é denominado *Hesitant Fuzzy Linguistic TOPSIS* (BEG; RASHID, 2013). Esse método é adequado para problemas de tomada de decisão individual ou em grupo, permitindo a integração de diversos setores envolvidos na avaliação de fornecedores. Outra vantagem é que requer menor quantidade de julgamentos do que as técnicas baseadas em comparações pareadas, como AHP, ANP e *Fuzzy AHP* (Osiro; Costa; Lima, 2021). Esses fatores, somados à ausência de modelos *Hesitant Fuzzy Linguistic TOPSIS* para apoiar a avaliação de fornecedores, justificam sua escolha por este estudo.

Quadro 1 - Modelos de decisão para avaliação da sustentabilidade de fornecedores

<b>Autor(es)</b>	<b>Técnica(s) de decisão</b>	<b>Critérios de decisão</b>
Baskaran, Nachiappan e Rahman (2012)	<i>Grey approach</i>	Discriminação, abuso de direitos de trabalho, concorrência desleal
Govindan, Khodaverdi e Jafarian (2013)	<i>Fuzzy TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)</i>	Custo, entrega, confiabilidade, qualidade, poluição, consumo de recursos, práticas de emprego.
Bai e Sarkis (2014)	<i>Rough set theory e DEA (Data envelopment analysis)</i>	Custo, tempo, qualidade, flexibilidade
Kannan, Govindan e Rajedran (2015)	<i>Fuzzy Axiomatic Design</i>	Sustentabilidade, gestão verde.
Orji e Wei (2015)	<i>Fuzzy Logic and Systems Dynamics</i>	Sustentabilidade, gestão sustentável
Trapp e Sarkis (2016)	<i>Integer programming</i>	Restrições relacionadas a riscos, treinamento, capacidade mínima
Zhou et al. (2016)	<i>DEA, type-2 fuzzy sets e chance constrained programming</i>	Capacidade tecnológica, capacidade de segurança e saúde do trabalho.
Luthra et al. (2017)	<i>AHP (Analytical Hierarchy Process) e VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija financial capability I Kompromisno Resenje)</i>	Preço do produto, qualidade do produto, ambiental, design e aquisição econômica, prevenção da poluição, competência no trabalho, direitos dos stakeholders
Li, Fang e Song (2018)	<i>Rough set theory e TODIM (an acronym in Portuguese of Interactive and Multicriteria Decision Making)</i>	Qualidade, flexibilidade, desempenho, controle da poluição, gestão ambiental, no ambiente natural, emprego, segurança
Mohammed (2019)	<i>Fuzzy TOPSIS</i>	Critérios divididos entre as dimensões econômica, ambiental e social
Liu et al. (2019)	<i>Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS</i>	Toxicidade humana, mudança climática, marinha, custo de fabricação, desperdício, custo de mão de obra
Lajimi (2021)	<i>Fuzzy TOPSIS</i>	Critérios divididos entre as dimensões econômica, ambiental e social
Osiro, Costa e Lima Junior (2021)	<i>Fuzzy 2-tuple</i>	Certificação ISO 14001, política ambiental, comunicação frequente e honesta, custo de transporte, prazo de entrega, inovação, pesquisa e desenvolvimento, poluição

Fonte: Proposto pelos autores, baseado nos resultados de pesquisa.

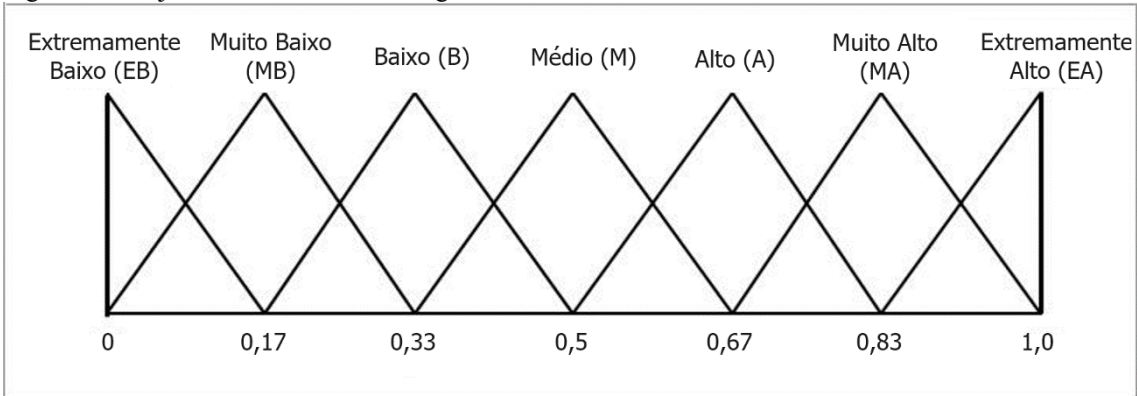
### 3.3 O Método *Hesitant Fuzzy Linguistic* TOPSIS

#### 3.3.1 Fundamentos de HFLTSS

A literatura apresenta várias abordagens de apoio à computação com palavras, sendo que a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* é uma das principais delas. Essa teoria serviu de base para a criação de novas abordagens para modelagem dos julgamentos linguísticos, possibilitando superar limitações relacionadas a modelagem de diferentes tipos de incerteza em processos decisórios. Uma dessas abordagens é denominada HFLTSSs, que foi desenvolvida por Rodriguez, Martínez e Herrera (2012). Seu principal diferencial é permitir o uso de expressões linguísticas e de mais de um termo linguístico simultâneo para exprimir o julgamento de um decisor, o qual é quantificado pelo envoltório do HFLTSS correspondente.

Considera-se  $S$  um conjunto básico de termos linguísticos, com  $S = \{s_1, \dots, s_g\}$ , conforme ilustra a Figura 1.  $H_s$  indica um subconjunto ordenado e finito dos termos linguísticos consecutivos de  $S$ . O envoltório de um HFLTSS ( $env(H_s)$ ) é um intervalo linguístico no qual os limites são designados pelos termos superior (*max*) e inferior (*min*) do subconjunto. Assim, tem-se  $env(H_s) = [H_{s-}, H_{s+}]$ . Por exemplo, seja  $S$  o conjunto apresentado na Figura 1 e  $H_s = \{s_5: Alto, s_6: Muito Alto, s_7: Extremamente Alto\}$ . Logo, tem-se  $H_{s-} = \min\{s_5: Alto, s_6: Muito Alto, s_7: Extremamente Alto\} = \{s_5: Alto\}$  e  $H_{s+} = \max\{s_5: Alto, s_6: Muito Alto, s_7: Extremamente Alto\} = \{s_7: Extremamente Alto\}$ . Portanto, o envoltório será composto por  $env(H_s) = [H_{s-}, H_{s+}] = [5, 7]$  (Beg; Rashid, 2013).

Figura 1 - Conjunto básico de termos linguísticos definidos com sete termos



Fonte: Rodriguez, Martinez e Herrera (2012) - Adaptado

Rodriguez, Martinez e Herrera (2012) propuseram a função  $E_{GH}: ll \rightarrow H_s$  para transformar expressões linguísticas  $ll$  em HFLTSSs ( $H_s$ ), de acordo com seus significados. Alguns exemplos de uso são:  $E_{GH}(s_i) = \{s_i / s_i \in S\}$ ,  $E_{GH}(\text{no máximo } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j \leq s_i\}$ ,  $E_{GH}(\text{pelo menos } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j \geq s_i\}$  e  $E_{GH}(\text{entre } s_i \text{ e } s_j) = \{s_k / s_k \in S \text{ e } s_i \leq s_k \leq s_j\}$ .

O cálculo da distância entre dois intervalos linguísticos de HFLTSSs é utilizado em diversos métodos multicritério. Há diferentes operadores de distância para esse propósito. Beg e Rashid (2013) propuseram o uso de uma equação para o cálculo da distância entre dois intervalos linguísticos, com base em seus respectivos envoltórios. Seja  $H_s^1$  e  $H_s^2$  dois HFLTSSs, com  $env(H_s^1) = [s_p, s_q]$  e  $env(H_s^2) = [s, s_q]$ , a distância  $d(H_s^1, H_s^2)$  é dada pela Equação 1. Nos casos em que é desejável ponderar a distância entre dois conjuntos HFLTSSs, pode-se adotar a Equação 2, na qual  $w_j$  representa o peso de cada critério  $j$ , e  $l$  é o número máximo de termos contido nos conjuntos  $H_{S_{ij}}^1$  e  $H_{S_{ij}}^2$  (Onar; Oztaysi; Kahraman, 2014).

$$d(H_s^1, H_s^2) = |q' - q| + |p' - p| \quad (1)$$

$$D_i = \sum_{j=1}^n w_j |H_{S_{ij}}^1 - H_{S_{ij}}^2|, \text{ em que } \left| H_{S_{ij}}^1 - H_{S_{ij}}^2 \right| = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l |S_k - S_{k'}|, \text{ com } k = k' \quad (2)$$

### 3.3.2 Etapas do método *Hesitant Fuzzy Linguistic* TOPSIS

A primeira versão do método HFL-TOPSIS foi proposta por Beg e Rashid (2013). Essa versão possibilitou o uso de expressões linguísticas para avaliar as pontuações das alternativas, mas possui a limitação de não permitir a consideração dos pesos dos critérios ao computar o desempenho global das alternativas. Esses pesos são pertinentes porque exprimem a importância relativa de cada critério, refletindo melhor as características do problema e o contexto da organização em questão. Para superar essa limitação, o presente estudo realizou as seguintes adaptações nesse método: o algoritmo proposto por Beg e Rashid foi aplicado na etapa de definição dos pesos dos critérios, e não somente na avaliação das alternativas; na etapa de avaliação das alternativas, a Equação 1 foi substituída pela Equação 2 para permitir a inclusão dos pesos dos critérios.

Os passos do algoritmo do HFL-TOPSIS aplicado neste estudo são detalhados no Quadro 2. A aplicação do HFL-TOPSIS se inicia com a definição de quem são as pessoas que atuarão como DMs (passo 1). As alternativas e os critérios são definidos pelos DMs de forma conjunta, que também especificam quais são os critérios de custo e quais são os critérios de benefício. Critérios de benefício possuem uma lógica do tipo “quanto maior a pontuação da alternativa, melhor” (ex. qualidade e confiança). Os critérios de custo funcionam de forma oposta, de modo que “quanto menor a pontuação, melhor” (ex. preço e prazo de entrega) (Beg; Rashid, 2013).

Quadro 2 – Algoritmo do método HFL-TOPSIS

<p>Início</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Definir os decisores <math>D_k</math> (<math>k=1, \dots, r</math>), alternativas <math>A_i</math> (<math>i=1, \dots, n</math>), e critérios <math>C_j</math> (<math>j=1, \dots, m</math>);</li></ol> <p># Cálculo dos pesos dos critérios</p> <ol style="list-style-type: none"><li>2. Obter um peso linguístico <math>\tilde{w}_{jk}</math> para cada critério <math>j</math> avaliado por cada decisor <math>k</math>;</li><li>3. Construir uma matriz <math>W_{m \times r} = [\tilde{w}_{jk}]</math> usando os pesos dos critérios;</li><li>4. Obter a SIP (<math>A^+</math>) e a SIN (<math>A^-</math>) a partir da matriz do passo 3;</li><li>5. Para <math>j=1</math> até <math>m</math><ol style="list-style-type: none"><li>5.1 Calcular <math>D_j^+</math> utilizando a Equação 1 e os valores de <math>A^+</math> e de <math>\tilde{w}_{jk}</math>;</li><li>5.2 Calcular <math>D_j^-</math> por meio da Equação 1 os valores de <math>A^-</math> e de <math>\tilde{w}_{jk}</math>;</li><li>5.3 Calcular <math>CC_j</math> utilizando a Equação 5;</li></ol>Fim do laço de repetição 5.</li></ol> <p># Normalização dos pesos</p> <ol style="list-style-type: none"><li>6. Para <math>j=1</math> até <math>m</math><ol style="list-style-type: none"><li>6.1 <math>CC_j = CC_j / \text{somatório}(CC_j)</math>;</li></ol>Fim do laço de repetição do passo 6.</li></ol> <p># Cálculo das pontuações globais das alternativas</p> <ol style="list-style-type: none"><li>7. Obter uma pontuação <math>x_{ik}</math> para cada alternativa <math>i</math> em cada critério <math>j</math>, para cada decisor <math>k</math>;</li><li>8. Construir uma matriz <math>X_{n \times m} = [\tilde{x}_{ij}^k]</math>;</li><li>9. Obter <math>A^+</math> e <math>A^-</math> a partir da matriz do passo 8;</li><li>10. Para <math>i=1</math> até <math>n</math><ol style="list-style-type: none"><li>10.1 Calcular <math>D_i^+</math> por meio da Equação 2 e os valores de <math>A^+</math> e <math>\tilde{x}_{ij}</math>;</li><li>10.2 Calcular <math>D_i^-</math> aplicando a Equação 2 e os valores de <math>A^-</math> e <math>\tilde{x}_{ij}</math>;</li><li>10.3 Calcular <math>CC_i</math> utilizando a Equação 5;</li></ol>Fim do laço de repetição do passo 10.</li><li>11. Ordenar as alternativas <math>A_i</math> com base nos valores de <math>CC_i</math> de forma decrescente;</li></ol> <p>Fim.</p>
---

Fonte: Proposto pelos autores, baseado em Beg e Rashid (2013)

Os pesos dos critérios (passo 2) e as pontuações das alternativas (passo 7) devem ser avaliados com base nos julgamentos dos DMs, conforme descrito na seção anterior. Após a conversão dos julgamentos linguísticos em HFLTSS, são efetuados os seguintes passos, tanto para o cálculo dos pesos (passos 4 e 5) quanto para o cálculo do desempenho global das alternativas (passos 9 e 10): definição da Solução Ideal Positiva (SIP) (Equação 3) e da Solução Ideal Negativa (SIN) (Equação 4); cálculo das distâncias entre as soluções ideais e as pontuações de cada alternativa (Equações 1 e 2); e cálculo do coeficiente de proximidade relativa -  $CC_i$  (Equação 5). Na etapa de cálculo dos pesos dos critérios (passo 6), os valores de  $CC_i$  devem ser normalizados, de modo que a soma totalize 1. Isso é necessário para aplicação da Equação 2 na etapa de cálculo das pontuações globais das alternativas (passos 10.1 e 10.2).



Por último, no passo 11, as alternativas com maior  $CC_i$  indicam os fornecedores com maior desempenho global.

$$\tilde{A}^+ = \left[ \left( \left( \max_{l=1}^k \left( \max_i H_{Sij}^l \right) \right) \mid j \in \Omega_b, \left( \min_{l=1}^k \left( \min_i H_{Sij}^l \right) \right) \mid j \in \Omega_c \right) \right] \quad (3)$$

$$\tilde{A}^- = \left[ \left( \left( \min_{l=1}^k \left( \min_i H_{Sij}^l \right) \right) \mid j \in \Omega_b, \left( \max_{l=1}^k \left( \max_i H_{Sij}^l \right) \right) \mid j \in \Omega_c \right) \right] \quad (4)$$

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (5)$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Modelo Proposto para Avaliação da Sustentabilidade de Fornecedores

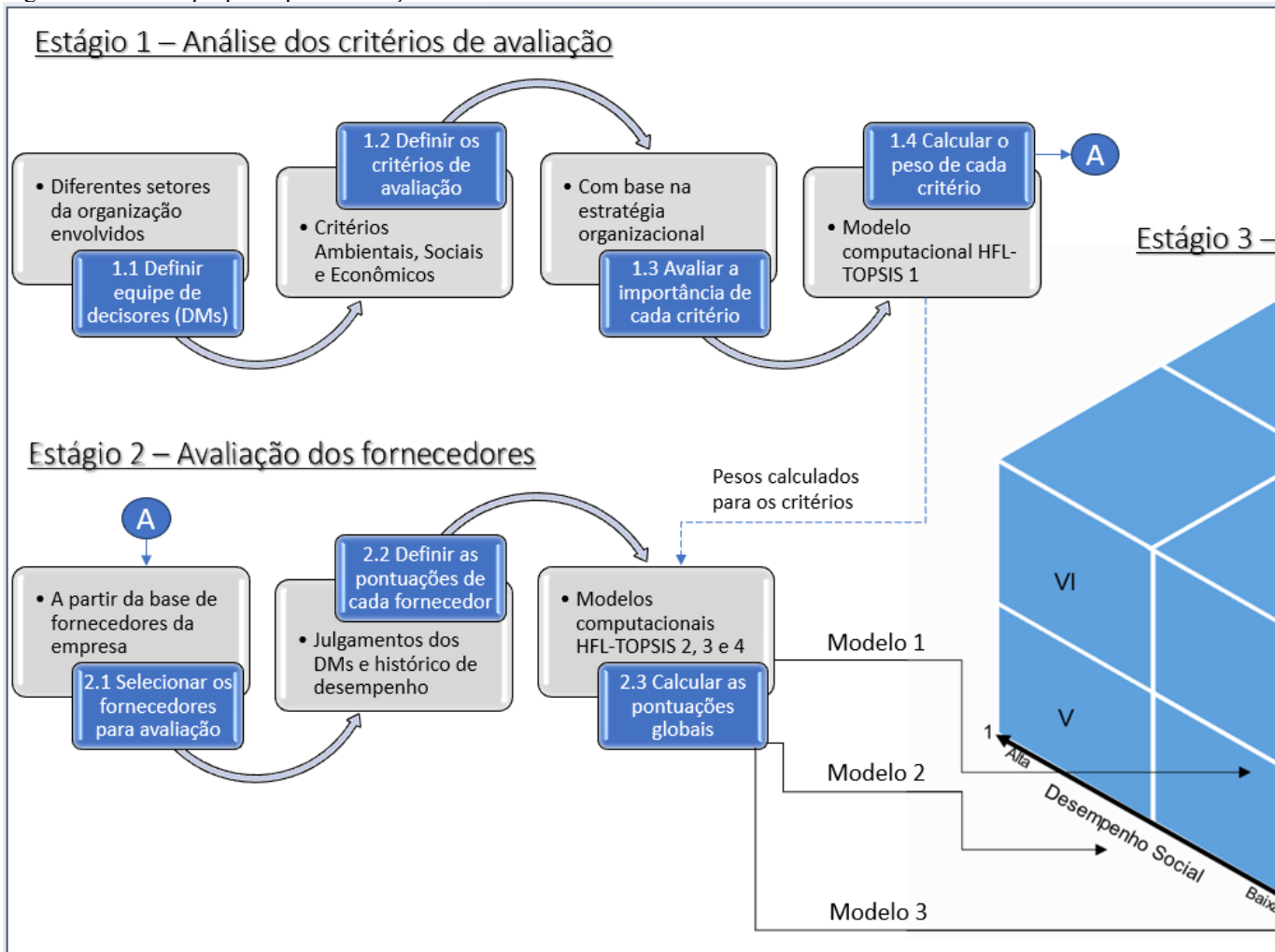
O modelo proposto pelo presente trabalho visa apoiar o processo de avaliação da sustentabilidade de fornecedores, a fim de tornar a empresa mais competitiva e de promover a responsabilidade socioambiental na cadeia de suprimentos. Esse modelo foi desenvolvido tendo como referência alguns estudos sobre HFLTSs (Rodríguez; Martinez; Herrera, 2012), HFL-TOPSIS (Beg; Rashid, 2013; Onar; Oztaysi; Kahraman, 2014) e avaliação da sustentabilidade de fornecedores (Liu et al., 2019; Lajimi, 2021). Vale destacar que esse modelo é voltado para empresas que já possuem práticas de gestão sustentável de cadeias de suprimentos ou que estão interessadas em desenvolver tais práticas. Deve ser aplicado prioritariamente para os fornecedores estratégicos da empresa, com os quais existe a intenção de relacionamento de longo prazo.

Como mostrado na Figura 2, o modelo se apresenta em três estágios. No estágio 1, ocorre a escolha dos critérios e a avaliação da importância relativa desses critérios. Um ou mais funcionários (ou DMs) de diferentes áreas relacionadas à gestão de fornecedores, como compras, qualidade, logística, ambiental e financeiro, deve escolher o conjunto de critérios para avaliar a sustentabilidade dos fornecedores e atribuir valores linguísticos sobre a importância relativa destes critérios. Essas definições podem surgir a partir de um *brainstorming* entre a gerência escolhida para tomada de decisão, levando em consideração os objetivos e a estratégia competitiva da empresa. Ao final do estágio 1, é feita a aplicação do modelo HFL-TOPSIS 1 para calcular os pesos dos critérios.

O estágio 2 começa pela escolha de quais fornecedores serão avaliados pela organização. Na sequência, o(s) decisor(es) avalia(m) esses fornecedores com base nos critérios pré-selecionados no estágio 1. Nessa etapa, são aplicados três modelos computacionais (modelos HFL-TOPSIS 2, 3 e 4). Esses modelos possuem como entrada os pesos dos critérios (calculados pelo modelo HFL-TOPSIS 1) e as pontuações individuais dos fornecedores. As pontuações individuais dos fornecedores podem ser baseadas em dados de indicadores de desempenho e/ou avaliações realizadas pelos DMs. Com base nessas pontuações, ao final desse estágio, cada modelo computacional irá estimar uma medida de desempenho para cada fornecedor em sua respectiva área do TBL.

No estágio 3, por meio de uma matriz tridimensional composta por três eixos associados às respectivas áreas do TBL, os fornecedores serão classificados em uma das oito categorias possíveis dentro da matriz. O valor obtido para a pontuação global do fornecedor em cada uma das dimensões do TBL é utilizado para classificá-la como “baixa ou alta”, dependendo do valor do limiar definido para a classificação. Nesse estudo, esse limiar foi definido como 0,5. Quanto maior for o nível de exigência da empresa compradora em relação a seus fornecedores, maior deve ser o valor do limiar de classificação em cada dimensão do TBL.

Figura 2 - Modelo proposto para avaliação da sustentabilidade de fornecedores



Fonte: Proposto pelos autores, baseado nos resultados de pesquisa.

Com base no Quadro 3 e com a respectiva classificação do fornecedor, é possível traçar estratégias para a melhoria do desempenho dos fornecedores de cada uma das categorias, de forma específica e diferenciada, visando aprimorar a eficácia do gerenciamento de fornecedores ao longo da cadeia de suprimentos. O Quadro 3 aponta em quais esferas cada um dos grupos de fornecedores devem se desenvolver. A implementação de estratégias de desenvolvimento deve tornar os fornecedores mais sustentáveis, movendo-os para o grupo VIII. Com isso, o modelo ajuda a identificar a necessidade de implantação de práticas que promovam a sustentabilidade dos fornecedores.

Quadro 3 – Tipo de estratégia recomendada para cada categoria de fornecedores

Categoria	Tipo de estratégia a ser aplicada		
	Econômica	Social	Ambiental
I	Sim	Sim	Sim
II	Sim	Sim	-
III	-	Sim	Sim
IV	-	Sim	-
V	Sim	-	Sim
VI	Sim	-	-
VII	-	-	Sim
VIII	-	-	-

Fonte: Proposto pelos autores, baseado nos resultados de pesquisa.

#### 4.2 Aplicação do modelo proposto

A aplicação piloto do modelo foi feita em uma empresa que atua na fabricação de produtos eletromagnéticos e eletrônicos, injeção plástica, estanhagem, trefilação e encordoamento de fios. Foi fundada na década de 1990 e atualmente possui cerca de 300 funcionários. Possui um sistema de gestão integrado certificado, baseado nas normas ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001, que integra diversos processos, programas e ações voltadas à gestão da qualidade, gestão ambiental e gestão de saúde e segurança do trabalho. Também possui a certificação IAF 16949, que atesta que o seu sistema de gestão da qualidade cumpre requisitos específicos da cadeia automotiva. Além disso, a empresa busca constantemente atender às recomendações da diretiva europeia 2011/65/EU, que dispõe sobre a restrição de certas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos, tais como chumbo, cádmio, entre outros. A busca pela melhoria dos processos da empresa em termos de sustentabilidade é motivada principalmente por seus clientes, sendo que muitos deles são empresas situadas na Europa e costumam ser mais exigentes do que o mercado nacional.

A partir de um contato inicial em que foi feita a apresentação da proposta de aplicação, a empresa aceitou participar do estudo e indicou um funcionário para atuar como decisor. Esse gestor foi indicado por ele atuar na gestão da qualidade de fornecedores, com foco na resolução de problemas nas operações dos fornecedores. Além disso, ele participou do processo de obtenção das certificações ISO na empresa.

##### 4.2.1 Estágio 1: definição e avaliação dos critérios

Primeiramente o decisor teve a tarefa de escolher os critérios de avaliação relacionados a cada uma das dimensões do TBL. Essa escolha foi feita com base nos critérios mostrados no Quadro 1 e levando em consideração os indicadores de desempenho já utilizados pela empresa (como comprometimento com a redução de custos, *lead time*, redução de não conformidades e certificações ambientais). Em seguida, o DM atribuiu julgamentos linguísticos para definir os respectivos pesos destes critérios, conforme a escala ilustrada na Figura 1. O Quadro 4 mostra os julgamentos linguísticos atribuídos para a definição dos pesos dos critérios ambientais (C<sub>1</sub> a C<sub>5</sub>), sociais (C<sub>6</sub> a C<sub>10</sub>) e econômicos (C<sub>11</sub> a C<sub>15</sub>), bem como o resultado da conversão para o formato de HFLTSSs.

Quadro 4 – Julgamentos linguísticos atribuídos aos pesos dos critérios

Critérios escolhidos	Julgamentos do decisor	Conversão	Envoltório	
			$s_p$	$s_q$
C <sub>1</sub> : Emissões atmosféricas	Entre médio a alto	[M, A]	4	5
C <sub>2</sub> : Certificações ambientais	Entre médio a alto	[M, A]	4	5
C <sub>3</sub> : Consumo de água	No máximo médio	[EB, M]	1	4
C <sub>4</sub> : Política Ambiental	Pelo menos muito alto	[MA, EA]	6	7
C <sub>5</sub> : Controle de impacto ambiental	Pelo menos muito alto	[MA, EA]	6	7
C <sub>6</sub> : Suporte a projetos comunitários	Entre médio a alto	[M, A]	4	5
C <sub>7</sub> : Investimento em responsabilidade Social	Pelo menos muito alto	[MA, EA]	6	7
C <sub>8</sub> : Código de conduta Social	Entre médio a alto	[M, A]	4	5
C <sub>9</sub> : Influência com a comunidade local	Entre médio a alto	[M, A]	4	5
C <sub>10</sub> : Programas de treinamento	Pelo menos muito alto	[MA, EA]	6	7
C <sub>11</sub> : Comprometimento em redução de custos	Pelo menos muito alto	[MA, EA]	6	7
C <sub>12</sub> : Capacidade de lidar com devoluções	Pelo menos muito alto	[MA, EA]	6	7
C <sub>13</sub> : Redução no tempo de máquina parada	Pelo menos muito alto	[MA, EA]	6	7
C <sub>14</sub> : Redução de não conformidades	Pelo menos muito alto	[MA, EA]	6	7
C <sub>15</sub> : <i>Lead Time</i>	Entre médio a alto	[M, A]	4	5

Fonte: Proposto pelos autores, baseado nos resultados de pesquisa.

Os valores mostrados no Quadro 4 foram inseridos no modelo HFL-TOPSIS 1. Os cálculos do modelo foram feitos seguindo as etapas descritas na Seção 3.3.2. Os valores apresentados são referentes aos envoltórios dos conjuntos HFTLS dos julgamentos do decisor, representados por  $s_p$  e  $s_q$ , em que “ $p$ ” é o limite inferior do envoltório e “ $q$ ” é o limite superior do envoltório, os quais podem variar de 1 a 7.

Considerando a SIN como  $A^- = [1, 1]$  e a SIP como  $A^+ = [7, 7]$ , computou-se as distâncias entre as pontuações de cada alternativa em relação às soluções ideais, usando as Equações 6 e 7. Os resultados dessa etapa resultaram nas matrizes de separação ideal negativa ( $D^-$ ) e separação ideal positiva ( $D^+$ ), apresentadas na Tabela 1. Em seguida, calculou-se os coeficientes das proximidades relativas ( $CC_j$ ) por meio da aplicação da Equação 5, os quais foram normalizados pela soma de todos valores de  $CC_j$ .

Tabela 1 – Resultados dos cálculos do modelo HFL-TOPSIS 1

Critério	Distância da SIN		Soma ( $D^-$ )	Distância da SIP		Soma ( $D^+$ )	$CC_j$	$CN_j$
	$ q' - q $	$ p' - p $		$ q' - q $	$ p' - p $			
C <sub>1</sub>	4	3	2	2	3	5	0,583	0,179
C <sub>2</sub>	4	3	2	2	3	5	0,583	0,179
C <sub>3</sub>	3	0	3	3	6	9	0,250	0,077
C <sub>4</sub>	6	5	0	0	1	1	0,917	0,282
C <sub>5</sub>	6	5	0	0	1	1	0,917	0,282
C <sub>6</sub>	4	3	2	2	3	5	0,583	0,163
C <sub>7</sub>	6	5	0	0	1	1	0,917	0,256
C <sub>8</sub>	4	3	2	2	3	5	0,583	0,163
C <sub>9</sub>	4	3	2	2	3	5	0,583	0,163
C <sub>10</sub>	6	5	0	0	1	1	0,917	0,256
C <sub>11</sub>	6	5	0	0	1	1	0,917	0,216
C <sub>12</sub>	6	5	0	0	1	1	0,917	0,216
C <sub>13</sub>	6	5	0	0	1	1	0,917	0,216
C <sub>14</sub>	6	5	0	0	1	1	0,917	0,216
C <sub>15</sub>	4	3	2	2	3	5	0,583	0,137

Fonte: Proposto pelos autores, baseado nos resultados de pesquisa.

A importância atribuída durante a análise dos pesos dos critérios, realizada pelo DM, indica que os critérios C<sub>4</sub> (Política Ambiental) e C<sub>5</sub> (Controle de Impacto Ambiental) possuem

maior peso na dimensão ambiental. Já na dimensão social, C<sub>2</sub> (Investimentos em responsabilidade Social) e C<sub>5</sub> (Programa de Treinamento de Funcionários) são os mais importantes. Dentro da esfera econômica, tem-se os critérios C<sub>1</sub> (Comprometimento em Redução de Custos), C<sub>2</sub> (Capacidade de lidar com devoluções), C<sub>3</sub> (Redução no tempo de máquina parada) e C<sub>4</sub> (Redução no custo da qualidade) empatados com o maior peso.

#### 4.2.2 Estágio 2: avaliação dos fornecedores

Esta etapa começou com a escolha de quais fornecedores seriam avaliados pelo DM. Por meio de uma consulta à base de fornecedores da empresa, o DM selecionou seis fornecedores de materiais que são utilizados na fabricação de componentes eletrônicos. Esses fornecedores também abastecem empresas da cadeia automotiva. Visando manter a confidencialidade dos dados, os fornecedores foram referenciados como F<sub>1</sub> a F<sub>6</sub>. Os cálculos realizados nesta etapa são similares ao estágio 1, com a aplicação de um modelo HFL-TOPSIS para cada dimensão do TBL.

Em relação à modelagem dos critérios utilizados, vale ressaltar que três deles foram modelados como critérios de custo. Há dois critérios ambientais - C<sub>1</sub> (Emissões Atmosféricas) e C<sub>3</sub> (Consumo de Água), e um critério econômico - C<sub>15</sub> (*Lead Time*). Ao contrário dos demais critérios utilizados, no caso dos critérios de custo, quanto menor for a avaliação do fornecedor, maior será desempenho global. Assim, inverte-se a forma de obtenção de SIP e SIN, de forma que a SIP passa a ser composta pelos valores mais baixos obtidos nos respectivos critérios, enquanto a SIN é composta pelos valores mais altos.

A avaliação dos fornecedores foi feita pelo DM utilizando expressões linguísticas formadas a partir dos termos mostrados na Figura 1. Primeiramente os fornecedores foram avaliados em relação aos critérios ambientais. Na sequência, realizou-se a avaliação considerando os critérios sociais e, posteriormente, os critérios econômicos. Os julgamentos do DM foram convertidos para o formato de HFLTSs de acordo com Rodriguez, Martínez e Herrera (2012). O Quadro 5 sumariza esses julgamentos.

Quadro 5 – Julgamentos do decisor a respeito das pontuações dos fornecedores

Modelo computacional	Critérios	Fornecedores					
		F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>
<b>Modelo HFL-TOPSIS 2</b> (Critérios ambientais)	C <sub>1</sub>	[M]	[A]	[M]	[A]	[M]	[A]
	C <sub>2</sub>	[M]	[M]	[A]	[M]	[M]	[M]
	C <sub>3</sub>	[M]	[M]	[A]	[A]	[MA]	[B]
	C <sub>4</sub>	[MA]	[A]	[M]	[A]	[B]	[A]
	C <sub>5</sub>	[A]	[MA]	[M]	[A]	[MA]	[A]
<b>Modelo HFL-TOPSIS 3</b> (Critérios sociais)	C <sub>6</sub>	[A]	[M]	[M]	[MA]	[A]	[M]
	C <sub>7</sub>	[M]	[A]	[MA]	[MA]	[A]	[M]
	C <sub>8</sub>	[A]	[MA]	[MA]	[A]	[M]	[M]
	C <sub>9</sub>	[MA]	[A]	[A]	[M]	[M]	[MA]
	C <sub>10</sub>	[MA]	[A]	[A]	[B]	[A]	[M]
<b>Modelo HFL-TOPSIS 4</b> (Critérios econômicos)	C <sub>11</sub>	[A]	[MA]	[MA]	[M]	[A]	[M]
	C <sub>12</sub>	[A]	[MA]	[A]	[M]	[MA]	[B]
	C <sub>13</sub>	[A]	[A]	[B]	[M]	[A]	[M]
	C <sub>14</sub>	[MA]	[M]	[A]	[A]	[M]	[M]
	C <sub>15</sub>	[A]	[A]	[M]	[M]	[M]	[B]

Legenda: B: Baixo M: Médio A: Alto Muito Alto: MA

Fonte: Proposto pelos autores, baseado nos resultados de pesquisa.

Em cada modelo computacional, foi realizada a definição de SIN e SIP. No modelo 2, a SIP foi definida como  $A^+ = \{[4, 4], [5, 5], [3, 3], [6, 6], [6, 6]\}$  e SIN como  $A^- = \{[5, 5], [4, 4], [6, 6], [3, 3], [4, 4]\}$ . No modelo 3,  $A^+ = \{[6, 6], [6, 6], [6, 6], [6, 6], [6, 6]\}$  e  $A^- = \{[4, 4], [4, 4], [4, 4], [4, 4], [3, 3]\}$ . Já no modelo 4,  $A^+ = \{[6, 6], [6, 6], [5, 5], [6, 6], [3, 3]\}$  e  $A^- = \{[4, 4], [3, 3], [3, 3], [4, 4], [5, 5]\}$ .

Em seguida, calculou-se as distâncias entre os valores dos julgamentos em relação às soluções ideais utilizando a Equação 4. O uso dessa equação permitiu as ponderar as pontuações dos fornecedores com base nos pesos dos critérios normalizados ( $CN_j$ ). Os resultados desses cálculos foram suprimidos em função da limitação do número de páginas deste artigo. Os valores obtidos para  $D^+$  e  $D^-$  foram utilizados para calcular as proximidades relativas ( $CC_i$ ) para cada fornecedor, conforme a Equação 5. A Tabela 2 apresenta os valores de  $CC_i$  obtidos pelos modelos 2 a 4, bem como a classificação relativa de cada fornecedor.

Tabela 2 - Resultados fornecidos pelos modelos HFL-TOPSIS 2 a 4

	Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4		Resultado da categorização			
	$CC_i$	Ranking	$CC_i$	Ranking	$CC_i$	Ranking	Amb.	Soc.	Econ.	Grupo
F <sub>1</sub>	0,7548	1°	0,7136	1°	0,6218	2°	Alto	Alto	Alto	Sustentável (VIII)
F <sub>2</sub>	0,6877	2°	0,7136	2°	0,5673	3°	Alto	Alto	Alto	Sustentável (VIII)
F <sub>3</sub>	0,3123	6°	0,5510	4°	0,7019	1°	Baixo	Alto	Alto	Social Econômico (VII)
F <sub>4</sub>	0,5096	4°	0,2883	5°	0,4327	5°	Baixo	Baixo	Baixo	Desempenho crítico (I)
F <sub>5</sub>	0,3986	5°	0,5925	3°	0,4583	4°	Baixo	Baixo	Alto	Econômico (III)
F <sub>6</sub>	0,5342	3°	0,1533	6°	0,2436	6°	Baixo	Baixo	Baixo	Desempenho crítico (I)

Fonte: Proposto pelos autores, baseado nos resultados de pesquisa.

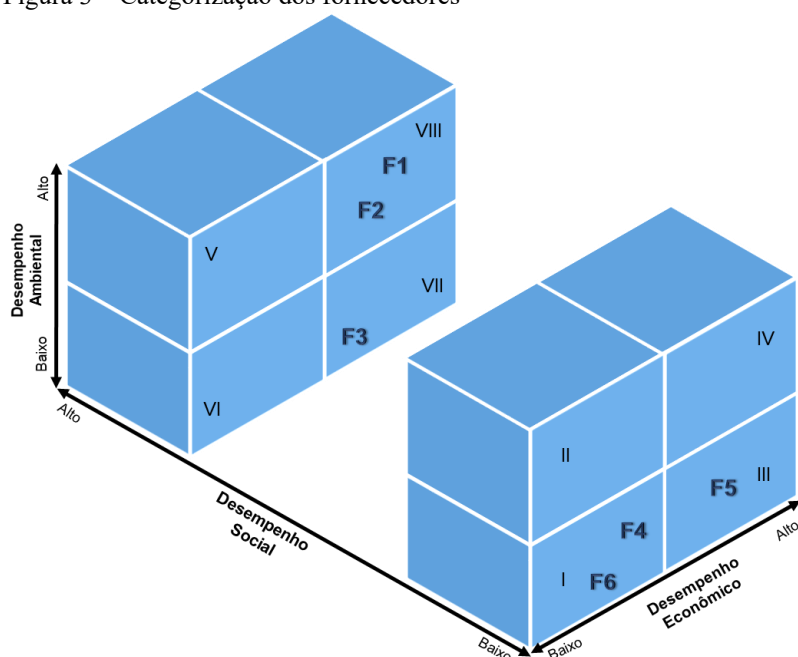
#### 4.2.3 Estágio 3: categorização dos fornecedores

Neste estágio realizou-se a categorização dos fornecedores avaliados no estágio 2. Os fornecedores foram classificados na matriz tridimensional mostrada na Figura 2, em que cada eixo representa uma dimensão do TBL. Cada fornecedor foi classificado em uma das 8 categorias possíveis dentro da matriz, com base nos valores de  $CC_i$  fornecidos por cada modelo, conforme mostrado na Tabela 2. Na presente aplicação, quando  $CC_i \geq 0,5$ , o fornecedor foi classificado como “alto”. Do contrário, é classificado como “baixo”. A Figura 3 ilustra o resultado da categorização dos fornecedores avaliados. Os fornecedores F<sub>4</sub> e F<sub>6</sub> foram posicionados na categoria I, já F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> se encontram na categoria VIII. Apenas o fornecedor F<sub>3</sub> está na categoria VII e F<sub>5</sub> na categoria III.

Com base na identificação da categoria de cada fornecedor e dos critérios em que cada um apresentou baixo desempenho, pode-se definir possíveis programas de desenvolvimento de fornecedores que contribuam para o aumento do desempenho e das capacidades dos fornecedores. Para os fornecedores da categoria VIII (F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>), que possuem os maiores índices de desempenho nas três esferas do TBL, não há necessidade de desenvolvimento de políticas em nenhuma das frentes. Deve-se apenas monitorá-los para detectar eventuais mudanças e priorizá-los em parcerias estratégicas.

Os fornecedores (F<sub>4</sub> e F<sub>6</sub>) na categoria I são os que possuem baixo desempenho em todas as dimensões do TBL. Caso não seja possível a substituição plena dos fornecedores da categoria, sugere-se a aplicação de estratégias e programas tanto para o desenvolvimento econômico, como para o ambiental e social. O fornecedor F<sub>3</sub>, classificado na categoria VII, possui alto desempenho nas esferas econômica e social, porém deixa a desejar na dimensão ambiental. Nesse caso, podem ser aplicadas estratégias ambientais de desenvolvimento. Já o F<sub>5</sub>, posicionado na categoria III, possui um bom desempenho apenas na esfera econômica da sustentabilidade. Com isso, deve-se desenvolver, políticas e estratégias que visem alavancar o desempenho social e ambiental.

Figura 3 – Categorização dos fornecedores



Fonte: Proposto pelo autor, baseado nos resultados de pesquisa<sup>4</sup>

Os resultados obtidos foram apresentados ao decisor. A partir da análise dos pesos dos critérios e da classificação dos fornecedores, o decisor considerou os resultados consistentes com a realidade prática da organização. Ele endossou que a alta importância dos critérios econômicos está relacionada ao fato de que a empresa é uma fabricante de peças, que fornece para várias empresas da cadeia automotiva. Logo, o foco é a redução de custos. Ele destacou que os fornecedores classificados no grupo VIII são de fato os melhores dentre os seis avaliados, uma vez que possuem práticas de gestão mais solidificadas e não costumam apresentar problemas nos lotes fornecidos à empresa.

Por último, ao comparar as características do modelo proposto com os estudos mostrados no Quadro 1, pode-se constatar que este modelo possui algumas vantagens de uso. Além disso, ao contrário dos modelos baseados em AHP e *Fuzzy AHP*, o modelo proposto não apresenta limitação quanto ao número de alternativas e critérios utilizados na aplicação, nem requer testes de consistência para a validação de julgamentos pareados. Também requer uma quantidade menor de julgamentos linguísticos por não depender da realização de comparações pareadas entre critérios e alternativas.

Diferentemente dos modelos baseados em *Fuzzy TOPSIS*, *Fuzzy AHP* e outros métodos baseados em lógica *fuzzy*, *2-tuple*, *rough sets* e *grey systems*, o modelo proposto permite aos DMs o uso de expressões linguísticas para exprimir cada julgamento, o que é útil em situações de incerteza, hesitação e ausência de informações. Outra vantagem é que o modelo proposto trata as três dimensões do TBL de forma não compensatória, ou seja, se um fornecedor alcança um desempenho alto em uma dimensão, isso não compensa um eventual desempenho baixo em outra dimensão. Dessa forma, o uso dessa abordagem não compensatória contribui para que os fornecedores tenham que buscar um bom desempenho em cada delas individualmente.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs um modelo decisório para dar suporte à avaliação da sustentabilidade de fornecedores, com base em critérios associados às três esferas do TBL e no método HFL-TOPSIS. A aplicação piloto realizada demonstrou que o modelo pode ser facilmente utilizado e é capaz de fornecer resultados consistentes e facilmente interpretáveis pelo decisor. Na aplicação em questão, os critérios econômicos receberam maior peso, o que

refletiu as prioridades da empresa em questão e da cadeia em que ela atua. Além disso, a avaliação de seis fornecedores por um decisor possibilitou a categorização destes em uma matriz tridimensional que fornece subsídios para a elaboração de programas de desenvolvimento de fornecedores.

O modelo proposto é a principal contribuição deste estudo. A utilização da técnica HFL-TOPSIS permitiu criar uma ferramenta capaz de modelar os julgamentos linguísticos dos gestores envolvidos na avaliação de fornecedores. Outra contribuição está na adaptação realizada na versão do HFL-TOPSIS proposto por Beg e Rashid (2013), a qual possibilitou considerar os pesos dos critérios utilizando julgamentos linguísticos. A atribuição de pesos aos critérios ajuda a garantir uma classificação dos fornecedores mais justa, permitindo a priorização de critérios que são críticos para a empresa compradora e/ou para a cadeia de suprimentos. A abordagem proposta se diferencia dos modelos prévios principalmente por ser mais flexível ao representar as preferências dos DMs, possibilitando o uso de mais de um termo linguístico e de expressões linguísticas para exprimir o peso de um critério ou a pontuação de uma alternativa. Dessa forma, o modelo proposto apoia a modelagem de preferências dos decisor de forma mais próxima à cognição humana, lidando também com situações em que há hesitação na escolha dos termos linguísticos e poucas informações disponíveis para tomada de decisão.

Já no âmbito das limitações deste estudo, uma delas é que a aplicação do modelo foi feita com apenas um DM, uma vez que não encontramos uma empresa que aceitasse participar deste estudo e dispusesse de dois ou mais DMs para avaliação de fornecedores em critérios sustentáveis. Outra limitação pertinente é que alguns modelos prévios podem não ter sido incluídos no Quadro 1, devido à pesquisa bibliográfica não abranger todas as bases de periódicos existentes, e por não terem sido incluídos estudos publicados em capítulos de livro, dissertações, teses e anais de eventos.

A realização de estudos futuros pode testar a aplicação do modelo proposto em empresas de diferentes segmentos, considerando os julgamentos de mais de um DM, para apoiar a avaliação da sustentabilidade de fornecedores visando ao desenvolvimento destes. Isso também possibilitaria a comparação da importância atribuída a diferentes critérios ambientais, sociais e econômicos em diferentes seguimentos. Pode-se também comparar os resultados de uso de diferentes métodos e as vantagens e limitações dos modelos de avaliação da sustentabilidade de fornecedores presentes na literatura.

## Referências

- AHI, P.; SEARCY, C. An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. **Journal Of Cleaner Production**, v. 86, p.360-377, 2015.
- ANSARI, Z. N.; KANT, R. A state-of-art literature review reflecting 15 years of focus on sustainable supply chain management. **Journal Of Cleaner Production**, v. 142, p.2524-2543, 2017.
- BAI, C.; SARKIS, J. Determining and applying sustainable supplier key performance indicators. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 19, n. 3, p.275-291, 2014.
- BASKARAN, V.; NACHIAPPAN, S.; RAHMAN, S. Indian textile suppliers' sustainability evaluation using the grey approach. **International Journal Of Production Economics**, v.135, p.647-658, 2012.
- BEG, I.; RASHID, T. TOPSIS for hesitant fuzzy linguistic term sets. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 28, n. 12, p. 1162-1171, 2013.
- BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **Int. J. of Operations & Production Management**, v.22, n.2, p.241-264, 2002.



- GOVINDAN, K.; KHODAVERDI, R.; JAFARIAN, A. A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. **Journal Of Cleaner Production**, v.47, p.345-354, 2013.
- KANNAN, D.; GOVINDAN, K.; RAJENDRAN, S. Fuzzy Axiomatic Design approach based green supplier selection: a case study from Singapore. **Journal Of Cleaner Production**, v. 96, p.194-208, 2015.
- LAJIMI, H.F. Sustainable supplier segmentation: a practical procedure. In: REZAEI, J. **Strategic Decision Making for Sustainable Management of Industrial Networks**. Cham: Springer, 2021. p.119-137.
- LI, J.; FANG, H.; SONG, W. Sustainability evaluation via variable precision rough set approach: A photovoltaic module supplier case study. **Journal Of Cleaner Production**, v. 192, p.751-765, 2018.
- LIMA, F.R.; OLIVEIRA, M.E.B.; RESENDE, C.H.L. An Overview of Applications of Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets in Supply Chain Management: The State of the Art and Future Directions. **Mathematics**, vol. 11, n.13, 2023.
- LINTON, J.D.; KLASSEN, R.; JAYARAMAN, V. Sustainable supply chains: An introduction. **Journal Of Operations Management**, v.25, p.1075-1082, 2007.
- LIU, Y. et al. A fuzzy decision tool to evaluate the sustainable performance of suppliers in an agrifood value chain. **Computers & Industrial Engineering**, v. 127, p.196-212, 2019.
- LUTHRA, SUNIL et al. An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. **Journal Of Cleaner Production**, , v. 140, p.1686-1698, 2017.
- ONAR, S.C; OZTAYSI, B.; KAHRAMAN, C. Strategic decision selection using hesitant fuzzy TOPSIS and interval type-2 fuzzy AHP: a case study. **International Journal of Computational intelligence systems**, v. 7, n. 5, p. 1002-1021, 2014.
- ORJI, I. J.; WEI, S. An innovative integration of fuzzy-logic and systems dynamics in sustainable supplier selection: A case on manufacturing industry. **Computers & Industrial Engineering**, v. 88, p.1-12, 2015.
- OSIRO, L.; COSTA, R.A.M.B.V.; LIMA, F.R. Evaluating supplier sustainability using fuzzy 2-tuple representation. **Gestão & Produção**, v.28, n.1, 2021.
- RODRIGUEZ, R.M.; MARTINEZ, L.; HERRERA, F. Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Decision Making. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 20, n. 1, p.109-119, 2012.
- SAPUTRO, T., E., FIGUEIRA, G., ALMADA-LOBO, B. A comprehensive framework and literature review of supplier selection under different purchasing strategies. **Computers & Industrial Engineering**, v.167, 108010, 2022.
- TORRES-RUIZ, A.; RAVINDRAN, A. R. Multiple criteria framework for the sustainability risk assessment of a supplier portfolio. **Journal Of Cleaner Production**, v. 172, p.4478-4493, 2018.
- TRAPP, A.C.; SARKIS, J. Identifying Robust portfolios of suppliers: a sustainability selection and development perspective. **Journal Of Cleaner Production**, v. 112, p.2088-2100, 2016.
- VANALLE, R. M.; SANTOS, L. B. Análise das práticas de sustentabilidade utilizadas na gestão da cadeia de suprimentos: pesquisa de campo no setor automotivo. **Gestão & Produção**, v.21, p.323-339, 2014.
- ZHOU, X. et al. Type-2 fuzzy multi-objective DEA model: An application to sustainable supplier evaluation. **Applied Soft Computing**, v.46, p.424-440, 2016.
- ZIMMER, K.; FRÖHLING, M.; SCHULTMANN, F. Sustainable supplier management – a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. **International Journal of Production Research**, v.54, p.1412-1442, 2016.