

GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E LÓGICA FUZZY COMO SUPPORTO À SELEÇÃO DE FORNECEDORES

**SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND FUZZY
LOGIC SUPPORTING SUPPLIER SELECTION**

Engenharias, Ciências Sociais Aplicadas • 22/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/790016209](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/790016209)

David Lopes Maciel¹

Brício Rocha Borges de Almeida²

Natiele Vieira de Oliveira Maciel³

Tiago Laddaga Dias⁴

Paulo Roberto Meloni Monteiro Bressan⁵

Antônio Lemos Régis⁶

Fábio Robson Casara Cavalcante⁷

Fabício Moraes de Almeida⁸

RESUMO

A seleção de fornecedores tem influência nos custos, na qualidade e na continuidade das operações, exigindo uma análise simultânea de critérios econômicos, operacionais e gerenciais. Este artigo científico tem como objetivo analisar a aplicação da lógica fuzzy como suporte à seleção de fornecedores na gestão da cadeia de suprimentos, considerando sua possível integração a sistemas de inteligência artificial. Adotou-se uma revisão bibliográfica qualitativa, complementada por uma aplicação numérica didática com quatro fornecedores fictícios e cinco critérios de avaliação. O Fuzzy AHP foi empregado para determinar os pesos dos critérios, enquanto o Fuzzy TOPSIS permitiu calcular as distâncias em relação às soluções ideais e ordenar as alternativas. Dessa forma, a qualidade apresentou o maior peso, com 0,36313, seguida pela confiabilidade da entrega, com 0,25498. O fornecedor F2 alcançou o maior coeficiente de proximidade, igual a 0,65214, seguido por F4, F1 e F3. Além disso, uma análise de sensibilidade validou a classificação em dez cenários distintos, confirmando a estabilidade do modelo dentro da faixa de variação adotado. Por fim, os resultados demonstram que a combinação entre Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS organiza julgamentos linguísticos, explicita as prioridades e oferece uma sequência verificável para orientar as decisões de compra.

Palavras-chave: Gestão da cadeia de suprimentos; Seleção de fornecedores; Inteligência artificial; Lógica fuzzy; Decisão multicritério.

ABSTRACT

Supplier selection fundamentally shapes costs, quality, and operational continuity, thus demanding a simultaneous evaluation of economic, operational, and managerial criteria. This study investigates the application of fuzzy logic as a decision-support tool

for supplier selection within supply chain management, exploring its integration with artificial intelligence. Methodologically, a qualitative literature review is paired with a didactic numerical application involving four hypothetical suppliers and five evaluation criteria. While the Fuzzy AHP approach was employed to establish criteria weights, Fuzzy TOPSIS was utilized to determine distances to ideal solutions and rank the alternatives. Quality emerged as the most critical criterion with a weight of 0.36313, closely followed by delivery reliability at 0.25498. Supplier S2(F2) attained the highest closeness coefficient (0.65214), ahead of S4(F4), S1(F1), and S3(F3). Furthermore, a sensitivity analysis validated the ranking across ten distinct scenarios, confirming the stability of the model within the designated variation range. Ultimately, the findings demonstrate that integrating Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS effectively structures linguistic judgments, elucidates priorities, and delivers a verifiable framework to guide purchasing decisions.

Keywords: Supply chain management; Supplier selection; Artificial intelligence; Fuzzy logic; Multi-criteria decision-making.

1. INTRODUÇÃO

A gestão da cadeia de suprimentos coordena os fluxos de materiais, informações e recursos financeiros entre fornecedores, organizações, distribuidores e clientes. Seu funcionamento depende da integração dessas partes, pois decisões isoladas podem gerar estoques excessivos, atrasos e falhas de abastecimento. A gestão conjunta busca assegurar continuidade operacional e melhor desempenho dos processos produtivos (MENTZER et al., 2001).

Entre as decisões dessa área, a seleção de fornecedores influencia diretamente os custos, a qualidade e a regularidade das entregas. A

escolha não deve considerar apenas o menor preço. Critérios como flexibilidade, capacidade de atendimento e risco de fornecimento também interferem no desempenho da cadeia e precisam ser avaliados simultaneamente (HO; XU; DEY, 2010; CHAI; LIU; NGAI, 2013).

A inteligência artificial tem sido utilizada para apoiar atividades de previsão, planejamento, controle e avaliação de riscos. Sua aplicação permite organizar dados e comparar alternativas com maior consistência. Na gestão da cadeia de suprimentos, essas tecnologias auxiliam decisões que envolvem diferentes variáveis e grande quantidade de informações (TOORAJIPOUR et al., 2021; CULOT; PODRECCA; NASSIMBENI, 2024).

Mesmo com dados disponíveis, determinadas avaliações permanecem imprecisas. Confiabilidade, flexibilidade e capacidade de resposta são frequentemente expressas por termos como baixa, média ou alta. Essas classificações dependem da percepção dos responsáveis pela decisão e não são adequadamente representadas por valores rígidos.

A lógica fuzzy permite tratar essa imprecisão por meio de graus de pertinência. Assim, uma alternativa pode pertencer parcialmente a diferentes categorias, sem ficar limitada a uma classificação absoluta. Essa característica torna o método adequado para problemas que combinam informações numéricas e julgamentos linguísticos (ZADEH, 1965).

Na seleção de fornecedores, a lógica fuzzy pode ser associada ao método multicritério. O Fuzzy AHP permite calcular os pesos dos critérios com base em comparações linguísticas. O Fuzzy TOPSIS

utiliza esses pesos para classificar os fornecedores conforme a proximidade de cada alternativa em relação à solução considerada ideal (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014; KESHAVARZ GHORABAE et al., 2017).

O problema de pesquisa consiste em compreender de que forma a inteligência artificial e a lógica fuzzy podem apoiar a seleção de fornecedores quando a decisão envolve múltiplos critérios e avaliações imprecisas. O objetivo geral foi analisar a aplicação da lógica fuzzy como suporte à seleção de fornecedores na gestão da cadeia de suprimentos, considerando sua possível integração a sistemas inteligentes. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão bibliográfica qualitativa. Como recurso de exposição, apresentou-se uma aplicação numérica didática baseada em cenário hipotético.

A aplicação considerou quatro fornecedores fictícios, avaliados por custo total de aquisição, qualidade, confiabilidade das entregas, flexibilidade e risco de fornecimento. Os dados foram utilizados para demonstrar a ponderação dos critérios pelo Fuzzy AHP e a classificação das alternativas pelo Fuzzy TOPSIS. A estrutura também permitiu examinar como informações produzidas por sistemas de inteligência artificial podem alimentar um modelo fuzzy de apoio à decisão.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E APLICAÇÃO

A revisão da literatura foi realizada por meio de levantamento bibliográfico qualitativo, com consulta a artigos científicos revisados por pares e livros acadêmicos relacionados ao tema. A busca considerou termos em português e inglês associados à gestão da cadeia de suprimentos, seleção de fornecedores, inteligência

artificial, lógica fuzzy e decisão multicritério. Foram selecionadas publicações com relação direta com o objetivo do trabalho e informações suficientes para fundamentar a aplicação proposta. Excluíram-se trabalhos acadêmicos não publicados, relatórios técnicos, páginas comerciais e outras fontes classificadas como literatura cinzenta.

A revisão da literatura reúne os fundamentos relacionados à gestão da cadeia de suprimentos, à seleção de fornecedores, à inteligência artificial e à lógica fuzzy aplicada ao suporte à decisão. Esses elementos foram examinados de forma articulada, considerando que a escolha de fornecedores envolve critérios quantitativos e avaliações qualitativas. A discussão também contempla os métodos Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS, utilizados para atribuir importância aos critérios e comparar as alternativas de fornecimento (HO; XU; DEY, 2010; LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014).

A gestão da cadeia de suprimentos foi analisada como uma atividade que integra empresas, processos e fluxos de materiais, informações e recursos financeiros. Mentzer et al. (2001) tratam a cadeia como um conjunto de organizações relacionadas desde o fornecedor inicial até o consumidor. Cooper, Lambert e Pagh (1997) situam essa gestão além da logística isolada, enquanto Lambert e Cooper (2000) destacam a coordenação de processos que ultrapassam os limites internos das empresas. Flynn, Huo e Zhao (2010) associam a integração entre os participantes ao desempenho operacional. Essa perspectiva permite situar o fornecedor como participante direto do desempenho produtivo e logístico.

A seleção de fornecedores representa uma decisão com efeitos sobre custos, qualidade, prazos, flexibilidade e continuidade do

abastecimento. Ho, Xu e Dey (2010) mostram que essa escolha não deve ser orientada apenas pelo menor preço, pois diferentes critérios afetam os resultados da contratação. Chai, Liu e Ngai (2013) identificam o uso crescente de métodos multicritério nesse processo, principalmente quando as alternativas apresentam vantagens e limitações que precisam ser avaliadas em conjunto.

A inteligência artificial foi examinada por sua capacidade de auxiliar o tratamento de dados e a análise de alternativas na cadeia de suprimentos. Suas aplicações alcançam previsão de demanda, gestão de estoques, avaliação de riscos e seleção de fornecedores. Toorajipour et al. (2021) observam que essas técnicas podem ampliar a capacidade analítica das organizações. Entretanto, os resultados dependem da qualidade dos dados, da definição dos critérios e da interpretação das informações produzidas pelos sistemas.

A lógica fuzzy foi incorporada à discussão por possibilitar a representação de avaliações imprecisas ou expressas em linguagem natural. Zadeh (1965) propôs os conjuntos fuzzy como uma forma de representar situações nas quais um elemento pode apresentar diferentes graus de pertencimento. Em decisões de fornecimento, expressões como custo baixo, qualidade elevada e prazo aceitável podem ser convertidas em valores fuzzy, sem eliminar a incerteza presente no julgamento dos responsáveis pela avaliação.

Entre os métodos examinados, o Fuzzy AHP permite estabelecer a importância relativa dos critérios por meio de comparações realizadas em ambiente fuzzy. O Fuzzy TOPSIS, por sua vez, ordena as alternativas conforme sua proximidade de uma solução ideal e seu afastamento de uma condição indesejada. A aplicação conjunta dos métodos favorece a organização dos julgamentos e a

classificação dos fornecedores, sem substituir a responsabilidade do decisor (BUCKLEY, 1985; CHEN, 2000; LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014).

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida como revisão bibliográfica de natureza qualitativa, direcionada à análise da lógica fuzzy como suporte à seleção de fornecedores. O estudo reuniu fundamentos da gestão da cadeia de suprimentos, da inteligência artificial e dos métodos multicritérios Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS. A fundamentação foi construída com base em artigos científicos revisados por pares e livros acadêmicos reconhecidos na literatura científica.

O percurso foi dividido em duas etapas. A primeira compreendeu a localização, seleção, leitura e análise das publicações relacionadas ao tema. A segunda consistiu na elaboração de uma aplicação numérica didática baseada em cenário hipotético. Essa aplicação foi utilizada para demonstrar os procedimentos do Fuzzy AHP e do Fuzzy TOPSIS, sem empregar dados de empresas, fornecedores ou operações existentes.

3.1. Tipo de Pesquisa: Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica foi adotada por possibilitar o exame de conhecimentos já publicados e a identificação de relações entre diferentes contribuições teóricas. Segundo Snyder (2019), a revisão da literatura pode constituir uma metodologia de pesquisa quando apresenta propósito definido, critérios de seleção e procedimento analítico explícito. Neste trabalho, a revisão foi conduzida de forma narrativa e qualitativa, sem aplicação de protocolo estatístico ou metanálise.

A abordagem qualitativa foi empregada para interpretar conceitos, aplicações e limitações presentes nas publicações selecionadas. A análise concentrou-se na forma como a literatura relaciona gestão da cadeia de suprimentos, seleção de fornecedores, inteligência artificial e lógica fuzzy. Também foram examinadas as características dos métodos multicritérios empregados em decisões sujeitas a avaliações linguísticas, julgamentos gerenciais e informações que não podem ser representadas adequadamente por valores exatos.

A demonstração numérica complementou a revisão ao organizar os fundamentos em um sistema de apoio à decisão. Os fornecedores, critérios, avaliações e resultados foram definidos para representar uma situação recorrente da cadeia de suprimentos e demonstrar a sequência de aplicação dos métodos.

3.2. Fontes de Dados (Artigos, Livros e Bases Científicas)

As fontes foram constituídas principalmente por artigos publicados em periódicos científicos revisados por pares. Também foram utilizados livros acadêmicos destinados à fundamentação de conceitos consolidados. O levantamento concentrou-se em publicações indexadas nas bases Scopus e Web of Science, com acesso por meio do Portal de Periódicos CAPES e das plataformas ScienceDirect, Wiley Online Library e Emerald Insight. Fontes comerciais ou sem avaliação científica não foram incorporadas.

As buscas utilizaram combinações de termos em português e inglês. Foram empregados os descritores “gestão da cadeia de suprimentos”, “seleção de fornecedores”, “inteligência artificial”, “lógica fuzzy”, “decisão multicritério”, “supply chain management”, “supplier selection”, “artificial intelligence”, “fuzzy logic”, “Fuzzy AHP”

e “Fuzzy TOPSIS”. Os termos foram combinados com os operadores booleanos AND e OR, conforme o eixo analisado.

Para os fundamentos da lógica fuzzy e dos métodos multicritérios, foram mantidas publicações seminais, mesmo quando anteriores ao período recente da produção científica. Nos estudos sobre inteligência artificial e aplicações na cadeia de suprimentos, foram priorizados trabalhos publicados entre 2010 e 2026. Essa combinação permitiu preservar as bases conceituais do tema e incorporar discussões mais atuais sobre sistemas de apoio à decisão.

3.3. Critérios de Seleção

A seleção considerou a relação direta da publicação com o problema, o objetivo e os elementos definidos para a revisão. Foram incluídos artigos completos revisados por pares, publicados em português ou inglês e disponíveis para leitura integral. Também foram observadas a clareza dos procedimentos apresentados, a contribuição teórica ou aplicada e a possibilidade de utilização da fonte na interpretação dos métodos de seleção de fornecedores.

A triagem foi realizada inicialmente pelos títulos e resumos. Os trabalhos considerados compatíveis com o escopo passaram por leitura integral. Nessa etapa, verificou-se se o conteúdo abordava pelo menos um dos eixos da pesquisa: cadeia de suprimentos, fornecedores, inteligência artificial, lógica fuzzy ou decisão multicritério. Permaneceram na revisão as publicações que contribuíram para a fundamentação, a definição dos critérios ou a aplicação dos métodos escolhidos.

Foram excluídas referências duplicadas, publicações sem acesso ao texto completo e materiais sem relação direta com o objetivo do

trabalho. Também não foram utilizados trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, preprints, relatórios institucionais, páginas comerciais, apostilas ou conteúdos de repositórios sem revisão por pares. Esse procedimento evitou o emprego de literatura cinzenta na construção da fundamentação e da análise.

3.4. Procedimentos de Análise e Aplicação Didática

As publicações selecionadas foram organizadas em uma matriz de leitura contendo autoria, ano, objetivo, método, conceitos abordados e contribuição para o trabalho. Em seguida, os conteúdos foram agrupados nos eixos temáticos definidos para a revisão. A análise buscou identificar aproximações, diferenças e limitações entre os autores, além das formas de utilização da lógica fuzzy em problemas relacionados à avaliação e à seleção de fornecedores.

Após a síntese teórica, foi construído um cenário hipotético envolvendo uma empresa industrial que necessita selecionar um fornecedor para determinado insumo produtivo. Foram consideradas quatro alternativas fictícias, identificadas como F1, F2, F3 e F4. A avaliação utilizou cinco critérios: custo total de aquisição, qualidade, confiabilidade da entrega, flexibilidade e risco de fornecimento. Os critérios foram definidos com base nas dimensões recorrentes da literatura sobre seleção de fornecedores.

O Fuzzy AHP foi utilizado para determinar a importância relativa dos cinco critérios. As comparações paritárias foram expressas por termos linguísticos convertidos em números fuzzy triangulares. Os pesos foram calculados pelo procedimento da média geométrica proposto por Buckley (1985) e posteriormente normalizados. Essa

etapa permitiu representar a preferência do decisor sem exigir que todos os julgamentos fossem apresentados como valores exatos.

Na etapa seguinte, os quatro fornecedores foram avaliados pelo Fuzzy TOPSIS, conforme a extensão proposta por Chen (2000). Qualidade, confiabilidade da entrega e flexibilidade foram tratadas como critérios de benefício. Custo total de aquisição e risco de fornecimento foram considerados critérios de custo. A matriz fuzzy foi normalizada, multiplicada pelos pesos dos critérios e comparada com as soluções ideais positiva e negativa.

As distâncias entre cada fornecedor e as duas soluções ideais foram calculadas pelo método dos vértices. Em seguida, determinou-se o coeficiente de proximidade de cada alternativa conforme apresentado na Equação (1):

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

Em que corresponde ao coeficiente de proximidade da alternativa (i); representa sua distância em relação à solução ideal negativa; e indica a distância em relação à solução ideal positiva. O índice (i) identifica cada fornecedor avaliado. O coeficiente apresenta valores entre zero e um, sendo que resultados mais próximos de um indicam maior proximidade da alternativa com a solução considerada desejável (CHEN, 2000).

Valores mais elevados indicam maior proximidade da solução desejada. A classificação final foi estabelecida em ordem decrescente, permitindo identificar o fornecedor mais adequado dentro das condições definidas no cenário fictício. Por fim, realizou-se uma análise de sensibilidade mediante variações de 10% nos

pesos dos critérios, mantendo-se a soma normalizada. Cada critério foi alterado individualmente, enquanto os demais foram ajustados de forma proporcional. O procedimento permitiu verificar se pequenas mudanças nas preferências modificavam a ordem dos fornecedores. Os resultados dessa aplicação são apresentados e discutidos na seção seguinte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram organizados em duas partes relacionadas. A primeira apresenta a síntese da literatura sobre seleção de fornecedores, inteligência artificial e lógica fuzzy. A segunda demonstra a aplicação dos métodos Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS na avaliação das alternativas de fornecimento. Essa organização permite relacionar os fundamentos examinados às decisões adotadas na aplicação numérica, mantendo correspondência entre os critérios selecionados, os cálculos realizados e a interpretação dos resultados.

4.1. Síntese dos Resultados da Revisão

A leitura comparativa das publicações indicou que a seleção de fornecedores passou a ser tratada como um problema de decisão multicritério. O preço permanece relevante, mas não representa isoladamente o desempenho esperado da contratação. Qualidade, entrega, capacidade produtiva, flexibilidade e risco também interferem nos resultados da cadeia. Essa ampliação dos critérios exige procedimentos capazes de organizar diferentes informações e estabelecer uma classificação compreensível das alternativas (HO; XU; DEY, 2010; CHAI; LIU; NGAI, 2013).

Os trabalhos analisados também mostram a aproximação entre métodos de decisão e recursos computacionais. A inteligência artificial amplia a capacidade de processar dados, identificar padrões e apoiar previsões. A lógica fuzzy atua de forma específica no tratamento de avaliações imprecisas e termos linguísticos. Embora apresentem funções distintas, esses recursos podem contribuir para decisões nas quais coexistem informações quantitativas, conhecimento dos responsáveis e incerteza sobre o desempenho futuro (TOORAJIPOUR et al., 2021; ZADEH, 1965).

4.1.1. Seleção de Fornecedores na Cadeia de Suprimentos

Os estudos sobre seleção de fornecedores demonstram que decisões baseadas exclusivamente no menor preço podem transferir custos para outras etapas da cadeia. Materiais com qualidade inadequada aumentam inspeções, perdas e retrabalho. Atrasos podem interromper a produção, enquanto limitações de capacidade reduzem a resposta às alterações da demanda. Dessa forma, a análise deve considerar o custo total da relação e os efeitos do fornecedor sobre o funcionamento do sistema produtivo (HO; XU; DEY, 2010).

A importância dos critérios varia conforme o produto, o mercado e as condições de abastecimento. Uma empresa que utiliza insumos padronizados pode atribuir maior peso ao custo. Em componentes críticos, a qualidade e a confiabilidade da entrega podem receber prioridade. A flexibilidade torna-se relevante quando existem alterações frequentes nos volumes solicitados. O risco, por sua vez, permite considerar possíveis interrupções, dependência e instabilidade no fornecimento (CHAI; LIU; NGAI, 2013).

Quanto aos procedimentos de avaliação, a literatura apresenta métodos baseados em comparação hierárquica, distância da solução ideal, programação matemática e técnicas combinadas. A escolha depende da quantidade de critérios, do número de alternativas e da natureza das informações disponíveis. Chai, Liu e Ngai (2013) identificam o crescimento de abordagens híbridas, especialmente quando um único método não contempla todas as etapas necessárias à definição dos pesos e à classificação dos fornecedores.

A síntese também indicou que não existe um conjunto único de critérios aplicável a todas as decisões de fornecimento. A estrutura precisa representar as necessidades da organização e as características do item adquirido. Com base nessa interpretação, foram adotados custo total de aquisição, qualidade, confiabilidade da entrega, flexibilidade e risco de fornecimento. Esses critérios abrangem dimensões econômicas, operacionais e gerenciais recorrentes nas publicações analisadas (HO; XU; DEY, 2010; CHAI; LIU; NGAI, 2013).

4.1.2. Inteligência Artificial e Lógica Fuzzy no Suporte à Decisão

A revisão indicou que a inteligência artificial tem sido aplicada à previsão de demanda, ao planejamento de estoques, à identificação de riscos e à avaliação de fornecedores. Essas aplicações favorecem o tratamento de volumes elevados de dados e a identificação de relações que dificilmente seriam examinadas de forma manual. Na cadeia de suprimentos, sua contribuição está associada principalmente ao aumento da capacidade analítica e à produção de informações para decisões operacionais e gerenciais (TOORAJIPOUR et al., 2021).

Apesar dessas possibilidades, a utilização da inteligência artificial depende da disponibilidade e da qualidade dos dados. Registros incompletos, sistemas não integrados e critérios mal definidos podem comprometer as análises. Culot, Podrecca e Nassimbeni (2024) também destacam a necessidade de compreender como as soluções são incorporadas aos processos organizacionais. Portanto, a tecnologia deve apoiar a avaliação gerencial, preservando a interpretação dos resultados e a responsabilidade pela decisão.

Nesse contexto, a lógica fuzzy apresenta uma função diferente dos modelos voltados à previsão ou ao aprendizado com dados históricos. Seu objetivo é representar conceitos que não possuem limites inteiramente definidos. Avaliações como qualidade alta, risco moderado ou flexibilidade baixa podem ser convertidas em graus de pertinência. Esse tratamento mantém as diferenças entre os julgamentos e evita a transformação imediata de opiniões imprecisas em valores rígidos (ZADEH, 1965).

O Fuzzy AHP e o Fuzzy TOPSIS desempenham funções complementares na estrutura da decisão. O primeiro organiza as comparações entre critérios e determina seus pesos relativos. O segundo utiliza esses pesos para avaliar a proximidade de cada alternativa em relação às soluções ideais. A utilização dos dois métodos permite separar a etapa de definição das prioridades da etapa de classificação dos fornecedores (BUCKLEY, 1985; CHEN, 2000).

Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2014) demonstram que os métodos fuzzy apresentam características adequadas à seleção de fornecedores, principalmente quando os julgamentos são expressos por termos linguísticos. A literatura examinada sustenta, portanto, a

adoção do Fuzzy AHP para ponderar os critérios e do Fuzzy TOPSIS para ordenar as alternativas. Essa combinação orienta a aplicação numérica apresentada nos próximos itens e permite observar como mudanças nos pesos podem afetar a classificação final.

4.2. Estruturação da Aplicação Numérica Didática

A aplicação numérica foi estruturada para demonstrar a utilização conjunta do Fuzzy AHP e do Fuzzy TOPSIS. O problema decisório foi organizado em três níveis: objetivo, critérios e alternativas. O primeiro nível corresponde à seleção do fornecedor. O segundo reúne os cinco critérios utilizados na avaliação. O terceiro contém os quatro fornecedores comparados. Essa estrutura permite calcular os pesos antes de avaliar o desempenho das alternativas.

4.2.1. Descrição do Cenário Hipotético

O cenário apresenta uma empresa industrial que necessita contratar um fornecedor para um insumo empregado continuamente em seu processo produtivo. A escolha influencia o custo da operação, a qualidade dos produtos e a continuidade da produção. Quatro fornecedores apresentaram condições comerciais e operacionais distintas. A empresa precisa identificar a alternativa que oferece a combinação mais adequada entre resultado econômico, desempenho operacional e exposição ao risco.

As alternativas foram identificadas como F1, F2, F3 e F4. Cada fornecedor recebeu uma descrição compatível com as avaliações utilizadas posteriormente. O Quadro 1 apresenta suas principais características. Essas informações não determinam antecipadamente a classificação, pois cada dimensão possui uma importância específica, calculada pelo Fuzzy AHP.

Quadro 1. Caracterização das alternativas de fornecimento

Fornecedor	Caracterização
F1	Fornecedor regional, com custo reduzido, resposta flexível e desempenho operacional intermediário.
F2	Fornecedor nacional, com controle de qualidade elevado, entregas regulares e menor exposição ao risco.
F3	Novo participante, com proposta econômica mais favorável, elevada flexibilidade e histórico operacional limitado.
F4	Fornecedor especializado, com custo superior, entregas confiáveis, baixa flexibilidade e menor risco de interrupção.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

As alternativas apresentam vantagens diferentes, impedindo uma escolha imediata. F1 combina custo e flexibilidade, enquanto F2 se destaca pela qualidade e pela regularidade. F3 possui a condição econômica mais favorável, mas apresenta maior incerteza. F4 oferece maior segurança de abastecimento, acompanhada de custo superior. Esse equilíbrio entre ganhos e limitações justifica o emprego de um método multicritério.

4.2.2. Fornecedores e Critérios de Avaliação

Os critérios foram definidos a partir das dimensões recorrentes na literatura sobre seleção de fornecedores. Ho, Xu e Dey (2010) destacam custo, qualidade e entrega entre os fatores mais empregados, enquanto Chai, Liu e Ngai (2013) indicam a ampliação das avaliações para critérios relacionados à flexibilidade e ao risco. A

seleção adotada permitiu combinar aspectos econômicos, operacionais e gerenciais em uma mesma estrutura de decisão.

Quadro 2. Critérios utilizados na seleção dos fornecedores

Código	Critério	Interpretação	Direção
C1	Custo total de aquisição	Preço, transporte e demais custos associados à compra	Minimizar
C2	Qualidade	Conformidade do insumo e regularidade do padrão fornecido	Maximizar
C3	Confiabilidade da entrega	Cumprimento dos prazos e das quantidades solicitadas	Maximizar
C4	Flexibilidade	Capacidade de ajustar volumes e condições de entrega	Maximizar
C5	Risco de fornecimento	Possibilidade de interrupção ou falha no abastecimento	Minimizar

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em Ho, Xu e Dey (2010) e Chai, Liu e Ngai (2013).

Custo total de aquisição e risco de fornecimento foram classificados como critérios de minimização. Isso significa que avaliações menores representam condições mais favoráveis. Qualidade, confiabilidade da entrega e flexibilidade foram tratadas como critérios de maximização. Nesses casos, valores mais elevados indicam melhor desempenho. Essa distinção será considerada na normalização da matriz fuzzy pelas Equações (9) e (10).

4.2.3. Variáveis Linguísticas e Números Fuzzy Triangulares

Os julgamentos foram representados por números fuzzy triangulares, indicados por (l, m, u) . O parâmetro l corresponde ao limite inferior, m representa o valor de maior pertinência e u indica o limite superior. No Fuzzy AHP, essa representação foi utilizada para expressar a intensidade das comparações entre os critérios. O Quadro 3 apresenta a escala adotada.

Quadro 3. Escala linguística utilizada no Fuzzy AHP

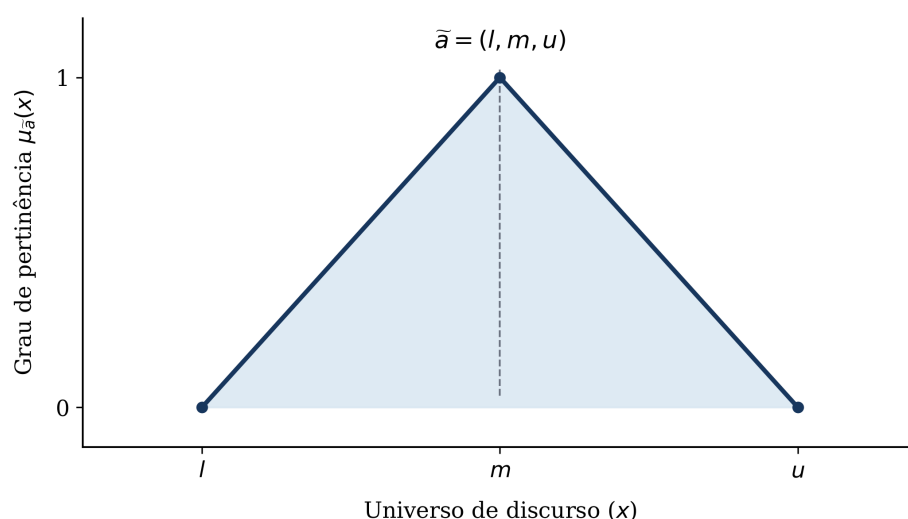
Intensidade	Julgamento linguístico	Número fuzzy triangular
1	Igual importância	(1, 1, 1)
2	Ligeiramente mais importante	(1, 2, 3)
3	Importância moderada	(2, 3, 4)
4	Entre moderada e forte	(3, 4, 5)
5	Importância forte	(4, 5, 6)
6	Entre forte e muito forte	(5, 6, 7)
7	Importância muito forte	(6, 7, 8)
8	Entre muito forte e extrema	(7, 8, 9)
9	Importância extrema	(8, 9, 9)

Fonte: Adaptado de Buckley (1985).

Quando o critério disposto na linha apresentou menor importância que o critério localizado na coluna, empregou-se o valor recíproco do número fuzzy. Para um número triangular (l, m, u) , o recíproco corresponde a $(1/u, 1/m, 1/l)$. Essa relação preserva a reciprocidade da matriz de comparações e permite representar os julgamentos nos dois sentidos.

A função de pertinência permite visualizar a formação do número fuzzy triangular. Entre os limites inferior e modal, o grau de pertinência aumenta linearmente até atingir o valor máximo igual a um. Entre os limites modal e superior, esse grau diminui até retornar a zero. Fora do intervalo definido pelos limites inferior e superior, a pertinência é nula. A Figura 1 apresenta essa representação.

Figura 1. Função de pertinência de um número fuzzy triangular



Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em Chen (2000).

No Fuzzy TOPSIS, as condições dos fornecedores foram expressas por cinco níveis linguísticos. A escala foi mantida entre um e nove para evitar valores nulos nos critérios de minimização. O Quadro 4 apresenta os termos utilizados e seus números fuzzy correspondentes.

Quadro 4. Escala linguística utilizada no Fuzzy TOPSIS

Termo linguístico	Número fuzzy triangular
Muito baixa	(1, 1, 3)
Baixa	(1, 3, 5)
Média	(3, 5, 7)

Alta	(5, 7, 9)
Muito alta	(7, 9, 9)

Fonte: Adaptado de Chen (2000).

Nos critérios de maximização, avaliações altas e muito altas indicam condições favoráveis. Nos critérios de minimização, como custo e risco, avaliações baixas representam melhor resultado. A aplicação da escala permite converter os julgamentos linguísticos em valores processáveis pelo Fuzzy TOPSIS. A etapa seguinte utiliza a escala do Quadro 3 para construir a matriz de comparações e calcular os pesos dos critérios.

4.3. Aplicação do Fuzzy AHP

A aplicação do Fuzzy AHP teve como finalidade determinar a importância relativa dos cinco critérios. Inicialmente, foram realizadas comparações paritárias com a escala apresentada no Quadro 3. Cada valor foi convertido em um número fuzzy triangular e processado pelo método da média geométrica. Os pesos obtidos foram defuzzificados, normalizados e submetidos à verificação de consistência antes de sua utilização no Fuzzy TOPSIS.

4.3.1. Estrutura Hierárquica e Comparações Paritárias

A estrutura hierárquica foi composta pelo objetivo de selecionar o fornecedor, pelos cinco critérios e pelas quatro alternativas. As comparações foram estabelecidas conforme as prioridades do cenário. A qualidade recebeu maior importância, seguida pela confiabilidade da entrega, pelo custo total de aquisição, pelo risco de

fornecimento e pela flexibilidade. A Tabela 1 apresenta as intensidades utilizadas nas comparações.

Tabela 1. Matriz de intensidades das comparações paritárias

Critério	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1/2	1/2	3	2
C2	2	1	2	5	3
C3	2	1/2	1	4	2
C4	1/3	1/5	1/4	1	1/2
C5	1/2	1/3	1/2	2	1

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/gestao-da-cadeia-de-suprimentos-inteligencia-artificial-e-logica-fuzzy-como-suporte-a-selecao-de-fornecedores?noblockage>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base na escala adaptada de Buckley (1985).

Na leitura da matriz, o valor 2 na posição C2–C1 indica que a qualidade foi considerada ligeiramente mais importante que o custo. A posição inversa C1–C2 recebeu o valor 1/2. O mesmo procedimento foi aplicado às demais comparações. Cada intensidade foi substituída pelo respectivo número fuzzy triangular, enquanto os valores inversos foram convertidos pelo cálculo recíproco apresentado no item 4.2.3.

4.3.2. Cálculo e Normalização dos Pesos

A média geométrica fuzzy de cada linha foi calculada pela Equação (2). Nessa expressão, representa a comparação fuzzy entre os critérios j e k , enquanto n corresponde ao número de critérios. Como foram consideradas cinco dimensões, adotou-se $n = 5$ (BUCKLEY, 1985).

$$\tilde{g}_j = \left(\prod_{k=1}^n \tilde{a}_{jk} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Para o critério custo total de aquisição (C1), o cálculo considerou os cinco valores presentes na primeira linha da matriz de comparação. Os componentes inferiores, modais e superiores foram multiplicados separadamente. Em seguida, aplicou-se a raiz de ordem cinco aos resultados obtidos. Esse procedimento resultou na média geométrica fuzzy $\tilde{g}_1 = (0,7402; 1,0845; 1,6438)$. O mesmo cálculo foi realizado para os demais critérios.

$$\begin{aligned} \tilde{g}_1 &= [(1, 1, 1) \otimes (\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1) \otimes (\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1) \otimes (2, 3, 4) \otimes (1, 2, 3)]^{\frac{1}{5}} \\ \tilde{g}_1 &= (0,7402; 1,0845; 1,6438) \end{aligned}$$

Após o cálculo das médias geométricas, os pesos fuzzy foram obtidos pela Equação (3). O símbolo $\otimes$ representa a multiplicação fuzzy, enquanto $\oplus$ indica a soma dos números fuzzy. O termo inverso relaciona a média geométrica de cada critério à soma das médias calculadas. Esse procedimento permite obter os limites inferior, modal e superior dos pesos empregados na etapa de defuzzificação.

$$\tilde{w}_j = \tilde{g}_j \otimes \left(\bigoplus_{k=1}^n \tilde{g}_k \right)^{-1}$$

Cada peso fuzzy obtido na etapa anterior foi formado por um valor inferior, um valor modal e um valor superior. Para utilizar esses pesos no Fuzzy TOPSIS, foi necessário transformar cada número triangular

em um valor único. Essa etapa, denominada defuzzificação, foi realizada pelo método do centroide, que calcula a média aritmética dos três componentes, conforme apresentado na Equação (4).

$$w_j^d = \frac{l_j^w + m_j^w + u_j^w}{3}$$

Após a defuzzificação, os valores foram normalizados para que a soma dos pesos fosse igual a um. Essa operação permite comparar a importância relativa dos critérios e utilizar os resultados na matriz ponderada do Fuzzy TOPSIS. Para isso, cada valor defuzzificado foi dividido pela soma dos valores obtidos para os cinco critérios, conforme a Equação (5).

$$w_j = \frac{w_j^d}{\sum_{k=1}^n w_k^d}$$

Os procedimentos de média geométrica, obtenção do peso fuzzy, defuzzificação e normalização foram aplicados aos cinco critérios. A Tabela 2 apresenta os resultados de cada etapa, incluindo os valores triangulares e os pesos utilizados posteriormente no Fuzzy TOPSIS. Para manter a precisão dos cálculos, os pesos normalizados foram apresentados com cinco casas decimais, enquanto os demais valores foram arredondados para quatro casas decimais.

Tabela 2. Cálculo dos pesos dos critérios pelo Fuzzy AHP

Critério	Média geométrica fuzzy	Peso fuzzy	Valor defuzzificado	Peso normalizado	Ordem
C1	(0,7402; 1,0845; 1,6438)	(0,0889; 0,1822; 0,4056)	0,2256	0,19107	3

C2	(1,5157; 2,2679; 2,9302)	(0,1820; 0,3811; 0,7231)	0,4287	0,36313	1
----	--------------------------------	--------------------------------	--------	---------	---

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/gestao-da-cadeia-de-suprimentos-inteligencia-artificial-e-logica-fuzzy-como-suporte-a-selecao-de-fornecedores?noblockage>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A qualidade apresentou o maior peso, com 0,36313, seguida pela confiabilidade da entrega, com 0,25498. O custo total de aquisição alcançou 0,19107, enquanto o risco de fornecimento recebeu 0,12526. A flexibilidade apresentou o menor peso, com 0,06556. Qualidade e entrega concentraram aproximadamente 61,81% da importância total, demonstrando a prioridade atribuída ao desempenho operacional na decisão.

A consistência foi verificada com a matriz formada pelos valores modais das comparações fuzzy. O maior autovalor da matriz atende à relação indicada na Equação (6), em que A^c representa a matriz modal e z corresponde ao seu autovetor principal.

$$A^c z = \lambda_{\max} z$$

O cálculo resultou em $\lambda_{\max} = 5,0671$. Considerando os cinco critérios avaliados, o índice de consistência foi determinado pela Equação (7).

$$CI = \frac{5,0671 - 5}{5 - 1} = 0,0168$$

Para uma matriz de ordem cinco, o índice aleatório utilizado foi RI = 1,12. A razão de consistência foi calculada pela Equação (8).

$$CR = \frac{0,0168}{1,12} = 0,0150$$

O valor de CR corresponde a aproximadamente 1,50%, permanecendo abaixo do limite de 10% indicado por Saaty (1980). Dessa forma, as comparações apresentam consistência aceitável. Os pesos normalizados da Tabela 2 foram, então, empregados na avaliação dos fornecedores pelo Fuzzy TOPSIS.

4.4. Aplicação do Fuzzy TOPSIS

Após a definição dos pesos dos critérios, o Fuzzy TOPSIS foi aplicado para ordenar os quatro fornecedores. As avaliações linguísticas foram convertidas em números fuzzy triangulares e organizadas em uma matriz de decisão. Em seguida, os valores foram normalizados e ponderados pelos pesos obtidos no Fuzzy AHP. O procedimento também envolveu a definição das soluções ideais, o cálculo das distâncias e a determinação do coeficiente de proximidade de cada alternativa (CHEN, 2000).

4.4.1. Matriz de Avaliação dos Fornecedores

As avaliações dos fornecedores foram estabelecidas conforme as características definidas no cenário apresentado no item 4.2. Para cada combinação entre fornecedor e critério, atribuiu-se um termo linguístico da escala indicada no Quadro 4. Nos critérios de qualidade, confiabilidade da entrega e flexibilidade, os níveis mais elevados representam melhor desempenho. Para custo total de aquisição e risco de fornecimento, os níveis mais baixos indicam condições mais favoráveis. A Tabela 3 apresenta a matriz linguística utilizada na aplicação.

Tabela 3. Matriz linguística de avaliação dos fornecedores

Forneced or	C1	C2	C3	C4	C5
F1	B	A	M	A	M
F2	M	MA	A	M	B
F3	MB	M	B	MA	A
F4	A	A	MA	B	MB

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/gestao-da-cadeia-de-suprimentos-inteligencia-artificial-e-logica-fuzzy-como-suporte-a-selecao-de-fornecedores?noblockage>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Nota: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto; MA = muito alto.

A distribuição das avaliações manteve as características atribuídas aos fornecedores. F1 apresentou desempenho equilibrado, com destaque para qualidade e flexibilidade. F2 recebeu a melhor avaliação em qualidade e apresentou baixo risco de fornecimento. F3 combinou custo reduzido e alta flexibilidade, mas obteve avaliação desfavorável quanto ao risco. F4 destacou-se pela confiabilidade da entrega e pelo baixo risco, embora apresentasse custo elevado e menor flexibilidade. Essas diferenças foram processadas nas etapas seguintes do Fuzzy TOPSIS.

Os termos linguísticos da Tabela 3 foram substituídos pelos números fuzzy triangulares definidos no Quadro 4. A conversão preservou os limites inferior, modal e superior atribuídos a cada avaliação. Esse procedimento originou a matriz de decisão fuzzy apresentada na

Tabela 4, utilizada posteriormente nos cálculos de normalização e ponderação.

Tabela 4. Matriz de decisão fuzzy

Forneced or	C1	C2	C3	C4	C5
F1	(1; 3; 5)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)
F2	(3; 5; 7)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)
F3	(1; 1; 3)	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)
F4	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(7; 9; 9)	(1; 3; 5)	(1; 1; 3)

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/gestao-da-cadeia-de-suprimentos-inteligencia-artificial-e-logica-fuzzy-como-suporte-a-selecao-de-fornecedores?noblockage>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.4.2. Normalização e Ponderação da Matriz Fuzzy

A matriz de decisão fuzzy foi normalizada para permitir a comparação entre critérios com diferentes sentidos de preferência. Qualidade, confiabilidade da entrega e flexibilidade foram tratadas como critérios de benefício, nos quais valores maiores são desejáveis. O custo total de aquisição e o risco de fornecimento foram considerados critérios de custo, para os quais os menores valores são preferíveis. Assim, foram aplicadas formas distintas de normalização, conforme Chen (2000).

Nos critérios de benefício, cada componente do número fuzzy foi dividido pelo maior limite superior observado no respectivo critério. A operação mantém a ordem dos valores triangulares e estabelece resultados normalizados entre zero e um, conforme a Equação (9).

$$\tilde{r}_{ij} =$$

Nos critérios de custo, utilizou-se o menor limite inferior identificado entre as alternativas. Esse valor foi dividido, respectivamente, pelos limites superior, modal e inferior de cada avaliação. A inversão mantém a estrutura triangular e atribui maior desempenho normalizado aos fornecedores com menor custo ou menor risco, conforme a Equação (10).

$$\tilde{r}_{ij} =$$

Após a normalização, cada avaliação triangular foi multiplicada pelo peso normalizado do respectivo critério, apresentado na Tabela 2. Essa operação incorporou à matriz o grau de importância definido pelo Fuzzy AHP. A matriz fuzzy normalizada e ponderada foi calculada pela Equação (11), na qual o primeiro termo representa o peso do critério e o segundo corresponde à avaliação normalizada de cada fornecedor.

$$\tilde{v}_{ij} = w_j \otimes \tilde{r}_{ij}$$

Na normalização dos critérios de benefício, o maior limite superior identificado foi igual a 9. Para os critérios de custo, o menor limite inferior utilizado foi igual a 1. Após a aplicação das Equações (9), (10) e (11), obteve-se a matriz fuzzy normalizada e ponderada apresentada na Tabela 5. Os resultados foram arredondados para cinco casas decimais.

Tabela 5. Matriz fuzzy normalizada e ponderada

Forneced or	C1	C2	C3	C4	C5
F1	(0,03821; 0,06369; 0,19107)	(0,20174; 0,28243; 0,36313)	(0,08499; 0,14166; 0,19832)	(0,03642; 0,05099; 0,06556)	(0,0171; 0,0254; 0,0417)
F2	(0,02730; 0,03821; 0,06369)	(0,28243; 0,36313; 0,36313)	(0,14166; 0,19832; 0,25498)	(0,02185; 0,03642; 0,05099)	(0,0259; 0,0417; 0,1252)
F3	(0,06369; 0,10108; 0,19107)	(0,12104; 0,20174; 0,36313)	(0,02833; 0,08499; 0,19832)	(0,05099; 0,06556; 0,06556)	(0,0131; 0,0254; 0,0417)

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/gestao-da-cadeia-de-suprimentos-inteligencia-artificial-e-logica-fuzzy-como-suporte-a-selecao-de-fornecedores?noblockage>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os valores apresentados nas matrizes foram arredondados para facilitar a leitura. Os cálculos das distâncias, dos coeficientes de proximidade e da análise de sensibilidade utilizaram os valores anteriores ao arredondamento.

4.4.3. Soluções Ideais e Cálculo das Distâncias

Após a ponderação, foram definidas as soluções ideais positiva e negativa. A solução ideal positiva representa o melhor desempenho possível em cada critério e corresponde ao respectivo peso normalizado. A solução ideal negativa representa o limite inferior da avaliação, assumido como zero. Esses pontos de referência foram

estabelecidos pela Equação (12), conforme o procedimento de Chen (2000).

$$\tilde{v}_j^+ = (w_j, w_j, w_j), \tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$$

A distância entre cada avaliação ponderada e as soluções ideais foi calculada pelo método dos vértices. Para dois números fuzzy triangulares, o cálculo considera as diferenças entre seus limites inferiores, modais e superiores. As diferenças são elevadas ao quadrado, somadas e divididas por três, conforme a Equação (13) (CHEN, 2000).

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \frac{\sqrt{(l_a - l_b)^2 + (m_a - m_b)^2 + (u_a - u_b)^2}}{3}$$

Para cada fornecedor, as distâncias calculadas nos cinco critérios foram somadas. A distância positiva indica o afastamento da alternativa em relação à solução ideal positiva, enquanto a distância negativa representa seu afastamento da solução ideal negativa. Os dois valores foram determinados pela Equação (14).

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d$$

4.4.4. Coeficiente de Proximidade e Ordenação dos Fornecedores

Com base nas distâncias positiva e negativa, o coeficiente de proximidade foi calculado pela Equação (1). Valores mais elevados indicam maior proximidade da solução ideal positiva e melhor desempenho global da alternativa. Para demonstrar a aplicação, apresenta-se a substituição dos valores obtidos para o fornecedor F2. O mesmo procedimento foi realizado para os demais fornecedores.

$$CC_{F2} = \frac{0,70361}{0,7531 + 0,70361} = 0,65214$$

Os cálculos das distâncias permitiram determinar o coeficiente de proximidade e a posição de cada fornecedor. Quanto maior o coeficiente, mais próxima a alternativa se encontra da solução ideal positiva. A Tabela 6 reúne as distâncias positiva e negativa, os coeficientes calculados e a ordenação final. Os resultados foram arredondados para cinco casas decimais.

Tabela 6. Distâncias, coeficientes de proximidade e ordenação dos fornecedores

Fornecedor	D_i^+	D_i^-	CC_i	Ordem
F1	0,45781	0,63970	0,58286	3
F2	0,37531	0,70361	0,65214	1
F3	0,53886	0,54987	0,50506	4
F4	0,39271	0,68734	0,63640	2

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O fornecedor F2 ocupou a primeira posição, com coeficiente de proximidade igual a 0,65214, seguido por F4, com 0,63640. A diferença de 0,01574 entre essas alternativas indica proximidade entre seus desempenhos globais. F1 alcançou a terceira posição, com 0,58286, enquanto F3 apresentou o menor coeficiente, com 0,50506. A classificação favoreceu os fornecedores com melhor desempenho em qualidade e confiabilidade da entrega, critérios que concentraram 61,81% do peso total.

4.5. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade verificou a estabilidade da ordenação diante de alterações nos pesos dos critérios. Cada peso foi aumentado e reduzido individualmente em 10%, formando dez cenários adicionais. Após cada alteração, os cinco pesos foram novamente normalizados para manter a soma igual a um. Em seguida, repetiram-se as etapas de ponderação, cálculo das distâncias e determinação dos coeficientes de proximidade.

Em cada cenário, o peso do critério selecionado foi multiplicado por um fator de variação. O valor de δ foi definido como $-0,10$ para a redução de 10% e $+0,10$ para o aumento de 10%. Os demais pesos permaneceram inalterados antes da nova normalização. O peso provisório foi calculado pela Equação (15).

$$\hat{w}_j = w_j(1 + \delta), \delta \in \{-0,10, +0,10\}$$

A alteração individual modificou a soma dos pesos, tornando necessária uma nova normalização. Para isso, cada peso provisório foi dividido pela soma dos cinco valores, conforme a Equação (16). Nos critérios não alterados, o peso provisório correspondeu ao valor original. Os pesos normalizados foram utilizados na repetição dos cálculos do Fuzzy TOPSIS.

$$w'_k = \frac{\hat{w}_k}{\hat{w}_1 + \hat{w}_2 + \hat{w}_3 + \hat{w}_4 + \hat{w}_5}, k = 1, \dots, 5$$

Os coeficientes de proximidade foram recalculados para o cenário-base e para as dez variações dos pesos. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos e permite verificar possíveis mudanças na classificação dos fornecedores. Os valores foram arredondados para cinco casas decimais.

Tabela 7. Resultados da análise de sensibilidade

Cenário	CC F1	CC F2	CC F3	CC F4	Ordena o
Base	0,58286	0,65214	0,50506	0,63640	F2 > F4 F1 > F3
C1 -10%	0,58450	0,65980	0,50110	0,64511	F2 > F4 F1 > F3
C1 +10%	0,58130	0,64476	0,50885	0,62799	F2 > F4 F1 > F3
C2 -10%	0,57717	0,64375	0,50344	0,63264	F2 > F4

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/gestao-da-cadeia-de-suprimentos-inteligencia-artificial-e-logica-fuzzy-como-suporte-a-selecao-de-fornecedores?noblockage>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A ordenação permaneceu inalterada no cenário-base e nas dez variações analisadas. F2 manteve a primeira posição, seguido por F4, F1 e F3. O coeficiente de F2 variou entre 0,64375 e 0,65996, enquanto F4 permaneceu entre 0,62799 e 0,64511. As alterações modificaram os valores dos coeficientes, mas não foram suficientes para produzir inversões na classificação.

A menor diferença entre F2 e F4 ocorreu quando o peso da qualidade foi reduzido em 10%, alcançando 0,01111. Com o aumento de 10% nesse critério, a diferença passou para 0,02006, a maior entre os cenários avaliados. Esse comportamento indica que a qualidade exerceu influência relevante na separação entre as duas primeiras

alternativas. Mesmo assim, a escolha de F2 permaneceu estável dentro do intervalo definido.

4.6. Discussão Integrada dos Resultados

Os resultados indicam que o menor custo não determinou isoladamente a escolha do fornecedor. F2 alcançou a primeira posição pela combinação entre qualidade, confiabilidade da entrega e baixo risco de fornecimento. Esse comportamento confirma a necessidade de avaliar critérios conflitantes de forma conjunta, conforme discutido por Ho, Xu e Dey (2010) e Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2014). A pequena diferença entre F2 e F4 também reforça a importância da ponderação e da análise de sensibilidade.

No contexto dos sistemas inteligentes, os indicadores utilizados no modelo podem ser alimentados por registros históricos de compras, inspeções e entregas. Técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina podem estimar atrasos, não conformidades e riscos, enquanto a lógica fuzzy permite tratar avaliações linguísticas e informações imprecisas (TOORAJIPOUR et al., 2021). Nesta aplicação, porém, a ordenação foi produzida pelo modelo fuzzy, sem treinamento de algoritmos de aprendizado de máquina.

Do ponto de vista gerencial, o procedimento oferece uma sequência verificável para definir critérios, atribuir pesos, avaliar alternativas e justificar a escolha realizada. A lógica fuzzy não elimina o julgamento dos responsáveis pela compra, mas organiza as avaliações e reduz a influência de decisões baseadas em um único indicador. O modelo também permite atualizar pesos e desempenhos quando surgirem

novos registros sobre custos, entregas, qualidade ou riscos (CHAI; LIU; NGAI, 2013).

A aplicação organizou os pesos, as avaliações, as distâncias e a ordenação final em uma sequência verificável, confirmada pela estabilidade observada na análise de sensibilidade.

5. CONCLUSÃO

A seleção de fornecedores foi tratada neste trabalho como uma decisão estratégica da gestão da cadeia de suprimentos. A escolha envolve critérios que apresentam diferentes níveis de importância e podem produzir avaliações conflitantes. Custo, qualidade, confiabilidade da entrega, flexibilidade e risco não devem ser examinadas isoladamente, pois a vantagem observada em um critério pode ser reduzida pelo desempenho apresentado nos demais. A pesquisa buscou, portanto, analisar como a inteligência artificial e a lógica fuzzy podem apoiar esse processo decisório.

A revisão da literatura mostrou que os sistemas de inteligência artificial ampliam a capacidade de processar dados, reconhecer padrões e produzir estimativas relacionadas ao desempenho dos fornecedores. A lógica fuzzy atua de forma complementar ao representar julgamentos expressos em termos linguísticos e situações nas quais os limites entre avaliações não são precisos. Essa combinação aproxima dados quantitativos e conhecimento gerencial, permitindo que informações históricas, previsões e avaliações de especialistas sejam incorporadas a uma mesma estrutura de apoio à decisão.

Na aplicação do Fuzzy AHP, a qualidade apresentou o maior peso, com 0,36313, seguida pela confiabilidade da entrega, com 0,25498. O

custo total de aquisição alcançou 0,19107, o risco de fornecimento recebeu 0,12526 e a flexibilidade apresentou 0,06556. Qualidade e entrega concentraram 61,81% da importância total. A razão de consistência de 1,50% indicou coerência nas comparações paritárias utilizadas para estabelecer as prioridades dos critérios.

Os pesos calculados foram incorporados ao Fuzzy TOPSIS para avaliar os quatro fornecedores. F2 ocupou a primeira posição, com coeficiente de proximidade igual a 0,65214, seguido por F4, com 0,63640. F1 alcançou 0,58286 e permaneceu na terceira posição, enquanto F3 obteve 0,50506. O resultado mostrou que o fornecedor de menor custo não representou necessariamente a melhor escolha, pois qualidade, entrega e risco exerceram influência conjunta sobre a classificação final.

A análise de sensibilidade complementou a avaliação ao modificar individualmente os pesos dos cinco critérios em -10% e +10%. Nos dez cenários, a ordenação permaneceu formada por F2, F4, F1 e F3. A diferença entre os dois primeiros fornecedores variou, principalmente, em função das alterações no peso da qualidade, mas não ocorreu inversão de posições. Esse resultado confirmou a estabilidade da classificação dentro do intervalo adotado e fortaleceu a justificativa para a escolha de F2.

A principal contribuição do trabalho está na apresentação de uma sequência completa para estruturar e calcular a seleção de fornecedores. O procedimento iniciou com a definição dos critérios, avançou pela atribuição dos pesos, converteu avaliações linguísticas em números fuzzy triangulares e produziu uma classificação acompanhada pela análise de sensibilidade. Além de indicar a alternativa preferível, o modelo permite compreender como cada

critério participa do resultado, oferecendo uma base verificável para justificar a decisão de compra.

A integração com a inteligência artificial pode ampliar essa estrutura por meio de estimativas de atrasos, riscos de interrupção, não conformidades e variações de desempenho. Esses resultados podem alimentar periodicamente o modelo fuzzy, atualizando as avaliações e a classificação dos fornecedores. A lógica fuzzy assume, nesse arranjo, a função de organizar a decisão multicritério, enquanto a inteligência artificial contribui para produzir e atualizar os indicadores. Conclui-se que essa associação oferece um caminho aplicável ao desenvolvimento de sistemas inteligentes de apoio à gestão da cadeia de suprimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUCKLEY, J. J. Fuzzy hierarchical analysis. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 17, n. 3, p. 233–247, 1985. DOI: 10.1016/0165-0114(85)90090-9.

CHAI, J.; LIU, J. N. K.; NGAI, E. W. T. Application of decision-making techniques in supplier selection: a systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 10, p. 3872–3885, 2013. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.12.040.

CHEN, C.-T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, n. 1, p. 1–9, 2000. DOI: 10.1016/S0165-0114(97)00377-1.

COOPER, M. C.; LAMBERT, D. M.; PAGH, J. D. Supply chain management: more than a new name for logistics. **The International Journal of Logistics Management**, v. 8, n. 1, p. 1–14, 1997. DOI: 10.1108/09574099710805556.

CULOT, G.; PODRECCA, M.; NASSIMBENI, G. Artificial intelligence in supply chain management: a systematic literature review of empirical studies and research directions. **Computers in Industry**, v. 162, art. 104132, 2024. DOI: 10.1016/j.compind.2024.104132.

FLYNN, B. B.; HUO, B.; ZHAO, X. The impact of supply chain integration on performance: a contingency and configuration approach. **Journal of Operations Management**, v. 28, n. 1, p. 58–71, 2010. DOI: 10.1016/j.jom.2009.06.001.

HO, W.; XU, X.; DEY, P. K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: a literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 1, p. 16–24, 2010. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.05.009.

KESHAVARZ GHORABAEI, M.; AMIRI, M.; ZAVADSKAS, E. K.; ANTUCHEVICIENE, J. Supplier evaluation and selection in fuzzy environments: a review of MADM approaches. **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, v. 30, n. 1, p. 1073–1118, 2017. DOI: 10.1080/1331677X.2017.1314828.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. Issues in supply chain management. **Industrial Marketing Management**, v. 29, n. 1, p. 65–83, 2000. DOI: 10.1016/S0019-8501(99)00113-3.

LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. **Applied Soft Computing**, v. 21, p. 194–209, 2014. DOI: 10.1016/j.asoc.2014.03.014.

MENTZER, J. T.; DEWITT, W.; KEEBLER, J. S.; MIN, S.; NIX, N. W.; SMITH, C. D.; ZACHARIA, Z. G. Defining supply chain management. **Journal**

of Business Logistics, v. 22, n. 2, p. 1–25, 2001. DOI: 10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill International Book Company, 1980. 287 p.

SNYDER, H. Literature review as a research methodology: an overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 104, p. 333–339, 2019. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.

TOORAJIPOUR, R.; SOHRABPOUR, V.; NAZARPOUR, A.; OGHAZI, P.; FISCHL, M. Artificial intelligence in supply chain management: a systematic literature review. **Journal of Business Research**, v. 122, p. 502–517, 2021. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.09.009.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.

¹ Master in Master of Science in Emergent Technologies in Education (MUST UNIVERSITY, MUST) - EUA, Academic of the Doctoral Program in Regional Development and Environment (PGDRA/UFRO). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8539-4023>

² Computer Engineering – UniSAPIENS. Porto Velho – RO.

³ Postgraduate in Public Health Management (IFAM), Oncology (FAP), Urgency and Emergency (FAVENI), and Health Audit (FaHol/DNA).

⁴ MBA em Gestão Administrativa e Financeira (Faculdade Iguaçu).

Professor da UNIFAEMA. RO/Brasil.

⁵ Bressan Doutor em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA/UFRO). Professor da UNIFAEMA. RO/Brasil.

⁶ Doutor em Educação (UFOPA). Professor da Faculdade de Engenharia, Tecnologia e Inovação – FAETI /Universidade Federal de Rondônia.

⁷ Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido. (UFPA). Professor do Departamento Acadêmico de Ciências Sociais e Ambientais./Universidade Federal de Rondônia.

⁸ PhD in Physics (UFC), with post-doctorate in Scientific Regional Development (DCR/CNPq).MBA in Software Engineering/Production Engineering – UniÚnica. Professor of the Doctoral and Master Program in Regional Development and Environment (PGDRA/UFRO). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4173-4636>