



CAPÍTULO 2

ANÁLISE DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS CLASSE 1 - EXPLOSIVOS: ESTUDO DE CASO UTILIZANDO O MÉTODO FUZZY AHP

Winston Andrade
Fatec Zona Sul

Andre Felipe Henriques Librantz
Uninove

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto
UFABC

Carlos Alberto Lopes
Uninove

RESUMO: O transporte rodoviário é responsável por 61,1% do transporte de mercadorias no Brasil, com uma rede de 1.721.342 km. A ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) regula o transporte terrestre de bens, incluindo produtos perigosos, conforme a legislação. Setores como mineração, petróleo, gás, indústria bélica e segurança pública utilizam produtos explosivos, classificados como classe 1 de produtos perigosos pela ONU (Organização das Nações Unidas). Uma revisão da literatura identificou a falta de pesquisas específicas sobre o transporte de explosivos. Esta pesquisa destaca o transporte rodoviário desses produtos, visando identificar, categorizar e hierarquizar fatores de risco, além de estabelecer conexões entre os fatores mais relevantes usando uma análise de decisão multicritério. O método Delphi é utilizado para identificar critérios relevantes, enquanto o FUZZY AHP (FAHP) oferece uma abordagem flexível e abrangente para lidar com a incerteza dos seis fatores de risco com maior importância utilizados no modelo: Condições das Rodovias, Comportamento do Motorista, Condições do Veículo, Falta de Segurança, Furto e Perfil do Motorista. A pesquisa preenche uma lacuna na literatura sobre gestão de riscos no transporte de explosivos e contribui para a indústria, reguladores e partes interessadas na melhoria das políticas de segurança.

PALAVRAS-CHAVE: transporte rodoviário; produtos perigosos; explosivos; Processo Hierárquico Analítico – AHP; FUZZY AHP

ABSTRACT: Road transport accounts for 61.1% of freight transport in Brazil, with a network of 1,721,342 km. ANTT regulates the land transport of goods, including dangerous goods, according to the legislation. Sectors such as mining, oil, gas, the defense industry and public security use explosive products, classified as class 1 dangerous goods by the UN. A literature review identified the lack of specific research on the transport of explosives. This research focuses on the road transport of these products, aiming to identify, categorize and prioritize risk factors, in addition to establishing connections between the most relevant factors using a multicriteria decision analysis. The Delphi method is used to identify relevant criteria, while the FUZZY AHP (FAHP) offers a flexible and comprehensive approach to deal with the uncertainty of the six most important risk factors used in the model: Road Conditions, Driver Behavior, Vehicle Conditions, Lack of Security, Theft and Driver Profile. The research fills a gap in the literature on risk management in the transportation of explosives and contributes to industry, regulators and stakeholders in improving safety policies.

KEYWORDS: road transport; dangerous products; explosives; Analytical Hierarchical Process – AHP; FUZZY AHP

1 INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário no Brasil é o principal modal de transporte, com uma rede de 1.721.342 quilômetros, responsável por 61,1% do transporte de mercadorias (CNT, 2023). A ANTT regula esse setor, incluindo o transporte de produtos perigosos, conforme a legislação ambiental (ANTT, 2018). Estudos recentes têm utilizado análises quantitativas para avaliar os riscos no transporte de produtos perigosos, especialmente na indústria química (Q. Yang et al., 2018a). Beczkowska (2019) e Mohammadfam (2020) destacam a importância desse transporte em vários modais para determinar o risco global de uma região.

Acidentes e roubos afetam o fluxo de tráfego gerando prejuízos econômicos (Ditta et al., 2019). Colisões com caminhões podem causar lesões e mortes devido ao tamanho dos veículos e à liberação potencial de materiais perigosos (Holeczek, 2019). Roubos, motivados pelo tipo de mercadoria, falta de segurança e facilidade em serem ocultados também são frequentes (Helbert T, 2020) (CNT, 2018; Ayyildiz, E., & Taskin Gumus, A. 2021).

Produtos perigosos como substâncias químicas tóxicas e inflamáveis, regulados por sistemas como o GHS (Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos) da Organização das Nações Unidas (ONU) são alvos comuns de roubos (Holeczek, 2019; C. Huang et al., 2020).

A tabela de classificação de produtos perigosos é utilizada no transporte e manuseio de substâncias que apresentam riscos à saúde, ao meio ambiente e à segurança pública. Ela categoriza e identifica os perigos associados a diferentes materiais (Figura 1).

Figura 1 – Tabela de classificação de Produtos Perigosos

Produtos Perigosos	Classe 1 - Explosivos	Subclasses: 1.1 – 1.2 – 1.3 – 1.4 – 1.5 – 1.6
	Classe 2 - Gases	Subclasses: 2.1 – 2.2 – 2.3
	Classe 3 – Líquidos Inflamáveis	Não possuiu subclasses
	Classe 4 - Sólidos inflamáveis, substâncias sujeitas à combustão espontânea; e substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis	Subclasses: 4.1 – 4.2 – 4.3
	Classe 5 – Substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos	Subclasses: 5.1 – 5.2
	Classe 6 – Substâncias tóxicas e substâncias infectantes	Subclasses: 5.1 – 5.2
	Classe 7 – Material radioativo	Não possuiu subclasses
	Classe 8 – Substâncias corrosivas	Não possuiu subclasses
	Classe 9 – Substâncias e artigos perigosos diversos, incluindo substâncias que apresentem risco para o meio ambiente	Não possuiu subclasses

Fonte: Adaptado da Resolução 5.947/2021 ANTT (Agência Nacional de Transporte Terrestres).

O transporte, manuseio e armazenamento de produtos perigosos são regulamentados rigorosamente para garantir a segurança e minimizar riscos de acidentes (Walendzik et al., 2021). Diversos fatores de risco são identificados no transporte rodoviário de produtos perigosos, que devem ser classificados, agrupados e hierarquizados conforme sua importância (Hafiz & Akbar, 2018; Xing et al., 2020).

A modelagem desses fatores visa uniformizá-los para métodos de decisão multicritério, como o AHP (Analytic Hierarchy Process) (Ditta et al., 2019; Q. Yang et al., 2018a). Contudo, a literatura mostra que os fatores de risco são tratados genericamente, sem diferenciar o tipo de produto e sua classe e utilizando métodos distintos (Tanackov et al., 2018; Xing et al., 2020).

É importante detalhar as características dos produtos perigosos e dos explosivos para compreender os cuidados a serem tomados com cada um deles e suas peculiaridades, apesar das semelhanças existentes. Os produtos perigosos são uma categoria ampla que inclui diversos tipos de substâncias, enquanto produtos explosivos se referem especificamente a substâncias com a função de provocar explosões.

A classe 1, que inclui produtos explosivos, carece de pesquisas específicas sobre seus riscos, apesar de suas características distintas (Lundin, 2018). Explosivos são muitas vezes classificados junto a outros produtos perigosos, como combustíveis e produtos químicos, embora não sejam fabricados com a finalidade de serem utilizados como explosivos (W. Huang & Zhang, 2021).

Os principais setores da economia global que empregam explosivos incluem a mineração (Saderova et al., 2020), a construção civil (Johan, 2018) e a indústria de petróleo e gás (Morais et al., 2022). O setor de mineração de metais destinados às baterias de carros elétricos está enfrentando um aumento na demanda por explosivos, o que tende a crescer com a expansão da indústria de veículos elétricos (Martins, 2022; Joaquim, 2023).

Dessa forma surge a questão: em que medida um modelo de decisão baseado em multicritérios, que incorpora os principais fatores de risco associados ao transporte rodoviário de explosivos, pode contribuir para aprimorar a segurança, prevenir incidentes e apoiar o processo decisório? O objetivo da pesquisa é identificar, categorizar e hierarquizar os elementos de risco no transporte de explosivos com base em sua importância, desenvolvendo um modelo para a avaliação, prevenção e gerenciamento dos fatores de risco, dentro do contexto de uma análise de decisão multicritério.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Produtos Perigosos

Os produtos perigosos são definidos como qualquer substância ou material capaz de causar danos às pessoas, propriedades e ao meio ambiente (Chen et al., 2020; Patel & Sohani, 2016). Os produtos perigosos se referem a explosivos, gases tóxicos, inflamáveis líquidos e sólidos, resíduos perigosos e substâncias oxidantes (Bernatik et al., 2021; Machado et al., 2018, p. 15).

2.2 Descrição sobre Risco

É possível afirmar que o risco é uma característica natural de qualquer decisão e, adicionalmente, é avaliado com base na combinação de diversos fatores, como gravidade, ocorrência, exposição, oportunidades de prevenção, entre outros (Yu et al., 2022). No entanto, é comum que essa avaliação seja simplificada para considerar principalmente três fatores: a gravidade, a probabilidade de ocorrer um possível acidente prejudicial, ocasionalmente incluindo o elemento de exposição e a severidade do risco (Li et al., 2019).

Em termos simples, a severidade indica o quão grave ou significativo é o potencial dano decorrente de um determinado risco e pode ser categorizada em quatro tipos: categoria 1 – risco desprezível; categoria 2 – risco marginal; categoria 3 – risco crítico; e categoria 4 – risco catastrófico.

2.3 Fatores de Risco

Fatores de risco no transporte rodoviário de produtos perigosos referem-se a elementos, condições ou circunstâncias que podem aumentar a probabilidade de acidentes, incidentes ou eventos adversos envolvendo o transporte de substâncias perigosas nas estradas (Şencan & Yavuz, 2017). Esses fatores podem variar amplamente e incluir diversos aspectos relacionados ao processo de transporte. Alguns exemplos de fatores de risco nesse contexto são: Condições das rodovias, Comportamento do motorista, Condições de tráfego, Condições do veículo, Falta de segurança e Excesso de velocidade (Bubbico et al., 2004).

2.4 Transporte Rodoviário

O “Transporte Rodoviário” refere-se a uma modalidade de transporte terrestre realizada por veículos automotores, como automóveis, ônibus, caminhões e carretas, que operam em autoestradas e rodovias, vias pavimentadas a nível regional ou nacional. Esses meios de transporte deslocam tanto pessoas quanto cargas em distâncias curtas a médias, sendo amplamente adotados e populares no Brasil e em diversas partes do mundo (Xia et al., 2020).

O transporte rodoviário destaca-se por sua flexibilidade em termos de itinerários, permitindo o acesso a uma ampla variedade de regiões e oferecendo agilidade, embora sua capacidade para o transporte de mercadorias e passageiros seja limitada (Bęczkowska, 2019). Por outro lado, o frete e a implementação desse tipo de transporte tendem a ser mais econômicos em comparação a outras modalidades, embora os custos de manutenção e combustível sejam consideráveis (Torretta et al., 2017).

2.5 Explosivos

Segundo a ONU (2013), os materiais perigosos são divididos em 9 classes e a classe dos produtos explosivos (classe 1) é dividida em seis subclasses. Apesar da descrição das subclasses demonstrar menor grau de periculosidade em relação a acidentes, existe a necessidade de se identificar de forma clara e precisa as subclasses para o acondicionamento e a escolha das embalagens corretas, segundo a resolução 420 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), de 12 de fevereiro de 2004, a classificação das substâncias na classe 1 como subclasse leva em conta sua alocação em grupos de compatibilidade (ANTT, 2004).

2.6 Método Delphi

O uso do método Delphi na etapa inicial deste estudo permitiu a identificação e organização dos fatores de risco relevantes para o objetivo proposto. O método Delphi é uma abordagem de pesquisa e tomada de decisão que se baseia na obtenção de consenso ou avaliações de um grupo de especialistas em um determinado campo ou tópico (Rowe & Wright, 2011; Kinjo, 2021).

O processo envolve várias rodadas de questionários ou consultas, com cada rodada sendo baseada nas respostas da rodada anterior. Isso permite que os especialistas reavaliem suas opiniões à medida que o processo avança, buscando gradualmente alcançar um consenso ou um acordo sobre um tópico específico (Marques & Freitas, 2018a; Beatriz & Rozados, 2015).

2.7 Fuzzy Analytic Hierarchy Process – FAHP

O AHP é empregado em situações de tomada de decisões complexas. Entretanto, em cenários com níveis crescentes de complexidade, a percepção humana desempenha um papel relevante. Nessas situações, imprecisões e ambiguidades são comuns. A presença dessas imprecisões e ambiguidades enfraquece a eficácia do AHP, o que abre espaço para a aplicação da lógica Fuzzy (M. Yang et al., 2011).

O método Fuzzy AHP surgiu com a proposta inicial de elaborar uma abordagem difusa para a tomada de decisões. O Fuzzy AHP é uma metodologia que se baseia em julgamentos comparativos difusos, os quais são expressos por meio de números difusos triangulares (Chang, 1996; Zadeh, 1965).

Nesse contexto, após a comparação par a par dos critérios e subcritérios por meio dos valores definidos pelo método AHP original, foi estabelecida uma escala com números Fuzzy para a conversão. Esse processo geralmente é descrito como “fuzificação”, é realizado utilizando a escala triangular Fuzzy (FELISONI et al., 2022). No processo, os valores da escala de Saaty (1, 3, 5, 7 e 9) são a referência da triangularização: para serem transformados em números triangulares, é subtraído o valor “1” (n-1) em relação ao valor de referência e somado o valor “1” (n+1) em relação ao mesmo valor (Bueno et al., 2019; Junior et al., 2021; H. H. Santos & Siqueira, 2017).

Figura 2 – Tabela de “fuzificação”: números da escala de Saaty e respectivos números triangulares FUZZY

Escala Saaty*	Descrição verbal	Números triangulares fuzzy
1	Igualmente importante	(1, 1, 2)
3	Fracamente importante	(2, 3, 4)
5	Consideravelmente importante	(4, 5, 6)
7	Fortemente importante	(6, 7, 8)
9	Absolutamente importante	(8, 9, 9)

* Os números 2, 4, 6 e 8 são usados quando os indivíduos têm percepções intermitentes, seus intervalos triangulares são $n-1$ e $n+1$, assim como os números de Saaty acima.

Fonte: Felisoni (2022)

A fuzificação é a etapa onde os dados de lógica Fuzzy se convertem em valores precisos para melhor lidar com a incerteza e imprecisão inerentes a muitos ambientes e situações do mundo real. Ela permite a representação de informações vagas e subjetivas, utilizando funções de pertinência para mapear valores precisos em graus de pertinência a conjuntos Fuzzy (Gul et al., 2019). Na triangularização, a função de pertinência de um conjunto Fuzzy é modelada usando uma função triangular, onde o valor máximo (1) é atribuído a um ponto central e diminui linearmente em ambas as direções (Ayyildiz & Taskin Gumus, 2021).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

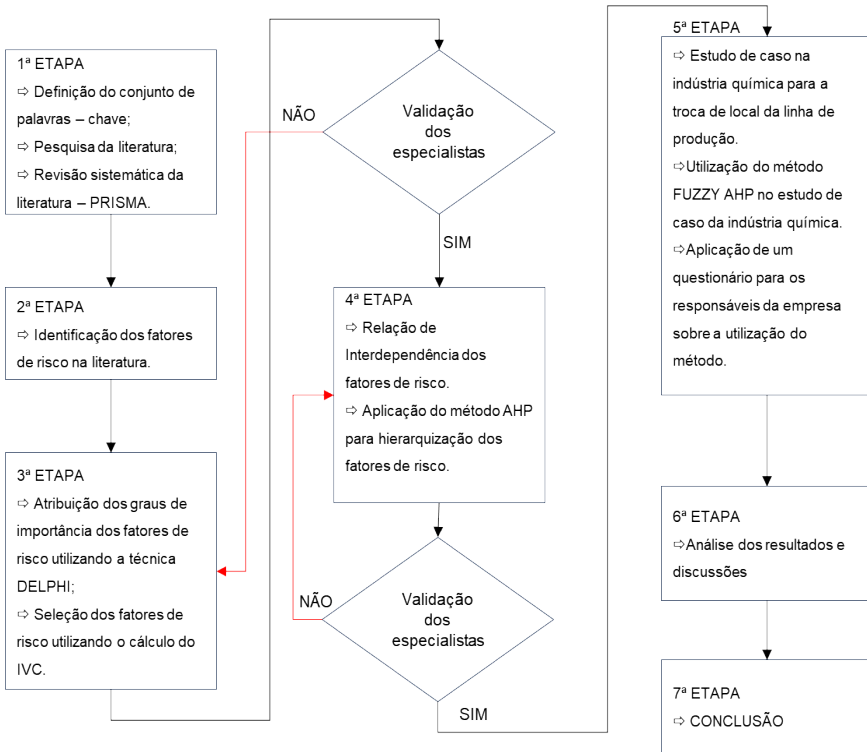
3.1 Método de Pesquisa

Este estudo baseia-se inicialmente em uma revisão sistemática da literatura utilizando o método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) e, posteriormente, conduz uma pesquisa de campo com dados empíricos, visando obter informações relacionadas a um problema específico, em busca de respostas (Marconi & Lakatos, 2010).

O método PRISMA é uma abordagem utilizada para melhorar a transparência e a qualidade na apresentação de revisões sistemáticas e meta-análises. O PRISMA 2020 é composto por um checklist de 27 itens e um diagrama de fluxograma, cobrindo aspectos essenciais da revisão (Page et al., 2022).

A metodologia adotada consiste na aplicação de uma pesquisa combinada (Creswell, 2009), que envolve a integração de abordagens quantitativas e qualitativas em uma única pesquisa. A estrutura do método utilizado nas etapas da pesquisa está apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Estrutura do método das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos Autores.

3.2 Seleção dos Fatores de Risco – Índice de Validade de Conteúdo (IVC)

Para avaliar a importância dos fatores de risco, foi utilizado o Índice de Validade de Conteúdo (IVC), que mensura a proporção ou porcentagem de especialistas que concordam com determinados aspectos do instrumento e de seus itens (Hyrkas et al., 2003). O cálculo do IVC envolve a divisão da soma dos valores atribuídos por cada especialista pelo produto do número de especialistas e o número de notas possíveis (cinco notas), conforme a fórmula: $IVC = \text{soma valores} / (\text{n}^\circ \text{ especialistas} \times \text{notas possíveis})$ (Kinjo, 2021).

Com a participação dos 10 especialistas, foi atribuído o grau de importância a cada um dos fatores de risco com pontuação classificada em: 1 – não é relevante; 2 – pouco relevante; 3 – relevante; 4 – muito relevante; e 5 – altamente relevante.

3.3 Relação de Interdependência dos Fatores de Risco

Os fatores de risco roubo e acidentes são a consequência da fragilidade e deficiência em outros fatores, ou possuem aspectos semelhantes. Por esse motivo as empresas de seguro sempre classificam as ocorrências como roubo ou acidentes, para depois analisarem as causas (Lopes, 2019; Teles, 2020). Utilizando essas informações foi proposta a relação de interdependência dos fatores, tendo como referência o roubo e os acidentes, foram selecionados dez fatores de risco.

3.4 Agrupamento do Fator de Risco Roubo

O roubo no caso de produtos explosivos não é realizado de forma oportunista ou de ocasião; por ser um produto específico, existem quadrilhas especializadas nesse delito. O roubo desses produtos exige planejamento e organização (Walendzik et al., 2021; Accettura et al., 2014). Os fatores de risco: falta de segurança, furto e comportamento do motorista possuem características que cooperam para o roubo.

O fator de risco furto é o resultado do planejamento das quadrilhas que realiza ações parciais como desvio de carga com a colaboração de funcionários das empresas. O comportamento do motorista tem como consequência a redução do cuidado e da atenção com a carga, sendo um facilitador no planejamento de roubos e de acidentes.

3.5 Agrupamento do Fator de Risco Acidente

Em relação ao agrupamento dos fatores de risco ao redor do acidente, alguns exemplos descritos sobre o perfil do motorista demonstram sua relação com os acidentes: falta de treinamento, problemas de saúde e psicológicos, baixo nível de capacitação podem facilitar a ocorrência de acidentes (Teles, 2020). As condições dos veículos e das rodovias são fatores chave na ocorrência de acidentes: a falta de manutenção preventiva dos veículos e das rodovias, falhas nos equipamentos dos veículos, falta de sinalização adequada e fiscalização das rodovias aumentam a ocorrência de acidentes (Bernatik et al., 2021; Xia et al., 2020).

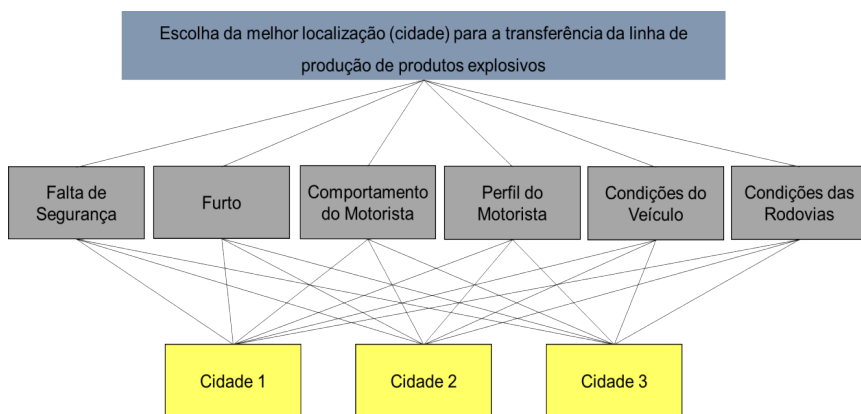
4 ESTUDO DE CASO APLICADO À INDÚSTRIA QUÍMICA

O estudo de caso aplicado à indústria química é a quinta etapa da elaboração dessa pesquisa. Nessa etapa, foi utilizado o método Fuzzy AHP para a tomada de decisão da empresa em relação à produção de produtos explosivos e sua matéria-prima. Os responsáveis pela empresa ficaram interessados na aplicação do método para auxiliar na tomada de decisão da mudança física da linha de produção.

Essa linha de produção é compartilhada com a fabricação de outros produtos na unidade da cidade 1. Em termos financeiros, a empresa tem consolidado os valores a serem utilizados na mudança. A preocupação dos responsáveis é a movimentação

logística dos produtos, tendo em vista que a movimentação de explosivos requer a adoção de normas de segurança mais restritivas. A empresa tem as seguintes opções: (1) mudança da linha de produção para outra área dentro do terreno da empresa na cidade 1; (2) mudança para um galpão da empresa na cidade 2; (3) mudança para um galpão da empresa na cidade 3.

Figura 4 – Modelo de Decisão AHP na Escolha da Cidade para a nova Linha de Produção



Fonte: Elaborado pelos Autores.

4.1 Utilização do Método Fuzzy AHP no Estudo de Caso da Indústria Química

Após a elaboração do modelo de decisão para o estudo de caso, quatro especialistas da empresa foram convidados para a aplicação do método Fuzzy AHP: o diretor presidente da empresa, o gerente de produção, a engenheira química responsável pelo departamento de compras e a diretora comercial. Os especialistas foram orientados a preencher a matriz de comparação de critérios AHP, apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Matriz de comparação de critérios preenchida pelos especialistas da empresa

FATORES DE RISCO	Condições das rodovias	Comportamento do motorista	Condições do veículo	Falta de segurança	Furto	Perfil do motorista
Condições das rodovias	1	3	3	9	5	9
Comportamento do motorista	0,3333	1	5	7	3	7
Condições do veículo	0,3333	0,2000	1	3	3	3
Falta de segurança	0,1111	0,1429	0,3333	1	1	3
Furto	0,2000	0,3333	0,3333	1,0000	1	3
Perfil do motorista	0,1111	0,1429	0,3333	0,3333	0,3333	1
TOTAL	2,0889	4,8190	10,0000	21,3333	13,3333	26,0000

Fonte: Elaborado pelos Autores.

4.2 Hierarquização Fatores de Risco

Após o preenchimento dos valores da matriz de comparação de critérios, obtidos por meio de consenso dos participantes, foi utilizada uma planilha do Microsoft Excel para realizar os cálculos necessários do método Fuzzy AHP. Dessa forma, obteve-se o grau de importância (hierarquização) dos fatores de risco, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação do grau de importância de cada fator de risco

Fatores de Risco	Grau de Importância
Condições das rodovias	35,65%
Comportamento do motorista	25,58%
Condições do veículo	13,68%
Falta de segurança	8,96%
Furto	9,51%
Perfil do motorista	6,62%

Fonte: Elaborado pelos Autores.

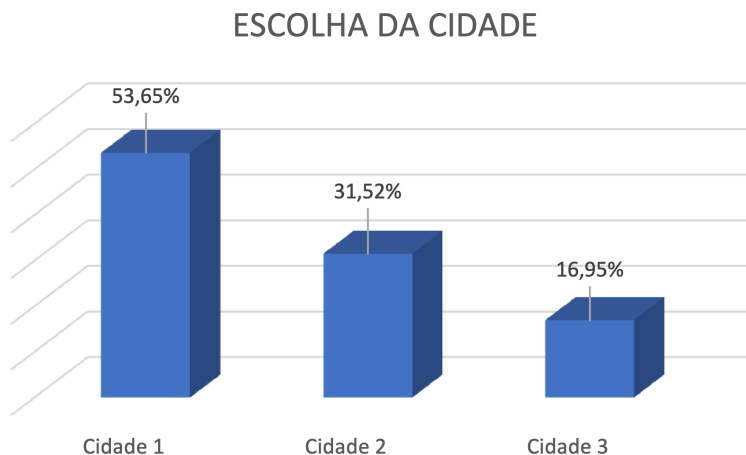
Essa hierarquia possibilita identificar a importância dos fatores de risco e assim entender de forma segura a atenção que cada um deles deve ter e sua prioridade no processo do transporte de produtos explosivos.

4.3 Resultado proposto pelo método Fuzzy AHP para a escolha da cidade

Todos os processos matemáticos do método Fuzzy AHP foram realizados em uma planilha do Microsoft Excel. É importante destacar que durante a revisão da literatura não foi encontrado nenhum modelo que realize esse processo especificamente para o transporte de produtos explosivos. A criação de um modelo computacional é uma importante contribuição tanto para a literatura como para a prática.

A cidade 1 obteve em termos percentuais mais de cinquenta por cento da preferência dos responsáveis pela empresa (53,65%), mostrando ser a melhor escolha. A cidade 2 obteve 31,52% e a cidade 3, 16,95%, demonstrando que há diversos fatores contrários para sua escolha (Figura 6).

Figura 6 – Resultado da Escolha da Cidade para a nova Linha de Produção



Fonte: Elaborado pelos Autores.

DISCUSSÃO

A discussão dos resultados no contexto do método Fuzzy AHP avalia como variações nos parâmetros na entrada de dados podem afetar os resultados (Gul et al, 2019). Essa análise visa compreender a robustez das conclusões obtidas diante de diferentes cenários e ajustes nos critérios Fuzzy (Ayyildiz & Taskin Gumus, 2021).

Os resultados obtidos estão alinhados com a literatura em relação ao fator de risco condições das rodovias, que apresentou o maior grau de importância (35,65%). Segundo Accettura et al. (2014), a condição das rodovias interfere em aspectos importantes no transporte de produtos perigosos: dependendo das condições, o trajeto pode ser alterado, gerando atrasos, algo prejudicial ao transporte de explosivos.

Os resultados também corroboram outros autores em relação ao grau de importância do comportamento do motorista (25,58%). Yang, Q., Chin, K. S., & Li, Y. L. (2018) destacam esse fator de risco em sua pesquisa, onde comportamentos impróprios como consumo de álcool ou drogas, fadiga e cansaço são causa de diversos acidentes.

Outros fatores de risco como falta de segurança, furto e perfil do motorista apresentaram grau de importância abaixo de 10%. Um dos motivos de influência sobre esses fatores a ser verificado é a localização das cidades e seus acessos, bem como o fato das rodovias serem concedidas à iniciativa privada (Saderova et al., 2020; Bernatik et al., 2021; Xia et al., 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa teve como ponto de partida a escassez de trabalhos voltados para o transporte rodoviário de produtos perigosos classe 1 (explosivos). A revisão sistemática da literatura identificou quinze fatores de risco associados ao transporte rodoviário de produtos explosivos. O estudo possibilitou a seleção de seis fatores de risco com maior importância, utilizados no modelo computacional: Condições das Rodovias, Comportamento do Motorista, Condições do Veículo, Falta de Segurança, Furto e Perfil do Motorista.

O uso do método FUZZY AHP (FAHP) proporcionou uma abordagem flexível e abrangente, considerando a incerteza desse contexto. Foi possível atribuir valores FUZZY para representar as imprecisões, lidar com as ambiguidades nas comparações e atribuir graus de importância a diferentes critérios, refletindo a realidade de que nem todos os critérios têm o mesmo peso na tomada de decisão.

A pesquisa aprofunda o entendimento científico dos riscos associados a produtos explosivos, preenchendo uma lacuna na literatura sobre análise dos riscos no transporte rodoviário desses produtos. Seus resultados têm relevância para a indústria de transporte, reguladores e partes interessadas, oferecendo diretrizes aplicáveis para a melhoria de políticas e práticas de segurança.

Este trabalho prepara o terreno para pesquisas futuras, incluindo a criação de um modelo utilizando uma linguagem de programação apropriada, a fim de facilitar e difundir a aplicação do método.

REFERÊNCIAS

Accettura, A., Bubbico, R., Garzia, F., & Mazzarotta, B. (2014). Improving security in road transportation of hazardous materials. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 4(4), 289–305.

Araújo, F. A., Dos Reis, J. G. M., da Silva, M. T., & Aktas, E. (2022). A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Model to Evaluate Logistics Service Expectations and Delivery Methods in Last-Mile Delivery in Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, 14(10).

Ayyıldız, E., & Taskin Gumus, A. (2021). Pythagorean fuzzy AHP based risk assessment methodology for hazardous material transportation: an application in Istanbul. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 35798–35810.

Beatriz, H., & Rozados, F. (2015). O uso da técnica Delphi como alternativa metodológica para a área da Ciência da Informação.

Bęczkowska, S. (2019). The method of optimal route selection in road transport of dangerous goods. *Transportation Research Procedia*, 40, 1252–1259.

Bernatik, A., Rehak, D., Cozzani, V., Foltin, P., Valasek, J., & Paulus, F. (2021). Integrated environmental risk assessment of major accidents in the transport of hazardous substances. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21).

Bubbico, R., Cave, S. Di, & Mazzarotta, B. (2004). Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: A GIS approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 17(6), 483–488.

Bueno, W. P., Rezer, J. A. P., Martha, K. A., & Bueno, V. P. (2019). FrameWork FUZZY AHP. *Rev. Elet. Gestão e Serviços*, 10(2177–7284), 1–26.

Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95.

Chen, F., Wang, C., Wang, J., Zhi, Y., & Wang, Z. (2020). Risk assessment of chemical process considering dynamic probability of near misses based on Bayesian theory and event tree analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 68.

Felisoni, P. R., Fellipe, S. M., & André Felipe Henriques Librantz. (2022). A FUZZY AHP ANALYSIS OF IT OUTSOURCING MONITORING IN PUBLIC ORGANIZATIONS. 12, 48–65.

Gul, M., Guneri, A. F., & Nasirli, S. M. (2019). A fuzzy-based model for risk assessment of routes in oil transportation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(8), 4671–4686.

Joaquim Filho, J. (2023). Identifying electric vehicles batteries technology trends: a prospective study based on patent mining. *Brazilian Journal of Business*, 5(3), 1595–1613.

Junior, W., Martins, F. S., & H Librantz, A. F. (2021). Resistance in processes of change in information technology: a Fuzzy AHP Approach. *Holos*, 37(3).

Kinjo, É. M. (2021). Modelagem e simulação de redes bayesianas para o cálculo de probabilidade de falha em sistemas IoT na saúde.

Li, Y. L., Yang, Q., & Chin, K. S. (2019). A decision support model for risk management of hazardous materials road transportation based on quality function deployment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 74, 154–173.

Lopes, C. A. (2019). Gestão de risco no transporte rodoviário de produtos perigosos – Classe 1 (Explosivos). UNINOVE, 1–133.

Machado, E. R., Do Valle Junior, R. F., Pissarra, T. C. T., Siqueira, H. E., Fernandes, L. F. S., & Pacheco, F. A. L. (2018). Diagnosis on transport risk based on a combined assessment of road accidents and watershed vulnerability to spills of hazardous substances. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9).

Marques, J. B. V., & Freitas, D. de. (2018). Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. *Pro-Posições*, 29(2), 389–415.

Martins, L. S. (2022). Reciclagem de baterias de veículos elétricos: Obtenção dos metais a partir de um processo hidrometalúrgico utilizando ácidos orgânicos.

Page, M. J. et al. (2022). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46, e112.

Patel, P., & Sohani, N. (2016). System safety assessment based on past incidents in oil and gas industries. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1).

Santos, H. H., & Siqueira, R. M. (2017). Analytic Hierarchy Process, Analytic Network Process e Fuzzy AHP: um estudo comparativo entre os métodos.

Sartori, H., & Cordeiro, C. C. M. (2021). Leis e diretrizes para o transporte terrestre de cargas perigosas no Brasil. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 7(11), 782–791.

Şencan, M., & Yavuz, H. (2017). Transportation of dangerous goods: Turkey model. *Journal of International Trade, Logistics and Law*, 3(2).

Teles, H. (2020). O uso de redes bayesianas para modelagem e simulação dos fatores de risco no transporte rodoviário de cargas.

Torretta, V., Rada, E. C., Schiavon, M., & Viotti, P. (2017). Decision support systems for assessing risks involved in transporting hazardous materials: A review. *Safety Science*, 92, 1–9.

Walendzik, M., Kamiński, T., Pawlak, P., & Demestichas, K. (2021). The Analysis of Organizational and Legal Possibilities to Reduce the Dangers Related to Road Transport of Dangerous Goods in Poland. *Journal of KONBiN*, 51(1), 15–28.

Xia, Y., Ma, F., Liao, H., & Liao, Z. (2020). Study on Features of Hazardous Goods Transport Accidents on Highway. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 741(1).

Yang, M., Khan, F. I., & Sadiq, R. (2011). Prioritization of environmental issues in offshore oil and gas operations: A hybrid approach using fuzzy inference system and fuzzy analytic hierarchy process. Process Safety and Environmental Protection, 89(1), 22–34.

Yang, Q., Chin, K. S., & Li, Y. L. (2018). A quality function deployment-based framework for the risk management of hazardous material transportation process. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 52, 81–92.

Yu, S., Li, Y., Xuan, Z., Li, Y., & Li, G. (2022). Real-Time Risk Assessment for Road Transportation of Hazardous Materials Based on GRU-DNN with Multimodal Feature Embedding. Applied Sciences (Switzerland), 12(21).

Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets.

“Os conteúdos expressos no trabalho, bem como sua revisão ortográfica e das normas ABNT são de inteira responsabilidade do(s) autor(es).”