



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

 Winston Andrade<sup>1</sup>  Andre Felipe Henriques Librantz<sup>2</sup>  Geraldo Cardoso de Oliveira  
Neto<sup>3</sup>  Carlos Alberto Lopes<sup>4</sup>

Versão do autor aceita publicada online: 17 set. 2024

Publicado online: 20 set. 2024

<sup>1</sup> Universidade Nove de Julho - UNINOVE  Doutorado em Informática e Gestão do Conhecimento

<sup>2</sup> Universidade Nove de Julho - UNINOVE  Doutorado em Tecnologia Nuclear em Materiais pela Universidade de São Paulo - USP. Possui Pós-Doutorado pela USP em Modelagem e Simulação Computacional e em Engenharia, com ênfase em Pesquisa Operacional

<sup>3</sup> Universidade Federal do ABC  Bolsista Produtividade em Pesquisa (PQ) nível 2, consultor Ad-hoc da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Pós-doutorado pela Universidade de Aveiro - Portugal em Gestão e Engenharia Industrial, Pós-doutorado pela Universidade Federal de São Carlos (UFScar) em Engenharia de Produção, Doutorado em Engenharia da Produção com reconhecimento de título na Universidade de Aveiro em Portugal, Doutorado em Administração de Empresas

<sup>4</sup> Universidade Nove de Julho - UNINOVE  Mestre em Engenharia de Produção

### Notas dos Autores

Os autores declaram que não há conflitos de interesses.

### Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA):

Andrade, W., Librantz, A., Oliveira Neto, G. C., & Lopes, C. A. (2024, artigo aceito online). Análise do transporte rodoviário de produtos perigosos Classe 1 - explosivos: estudo de caso utilizando o Método Fuzzy AHP. *Exacta*, artigo aceito online. <https://doi.org/10.5585/2024.27182>

### 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

### ANALYSIS OF ROAD TRANSPORT OF HAZARDOUS PRODUCTS CLASS 1 - EXPLOSIVES: A CASE STUDY USING THE FUZZY AHP METHOD

#### 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 (B2019) e Mohammadfam (2020) destacam a importância desse transporte em vários modais para determinar o risco global de uma região.

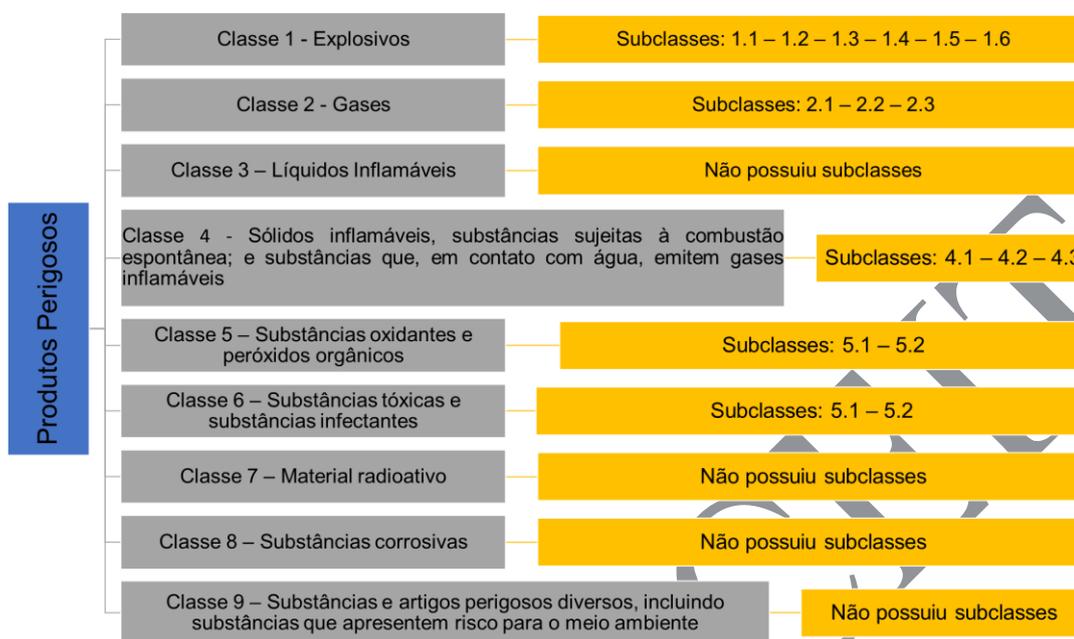
Acidentes e roubos afetam o fluxo de tráfego gerando prejuízos econômicos (Ditta et al., 2019). Colisões com caminhões podem causar lesões e mortes devido ao tamanho dos veículos e à liberação potencial de materiais perigosos (Holeczek, 2019). Roubos, motivados pelo tipo de mercadoria, falta de segurança 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 e, 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



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.

**PRODUTOS PERIGOSOS:** substâncias ou materiais que podem representar riscos à saúde humana, ao meio ambiente ou à propriedade. Engloba uma ampla variedade de substâncias, incluindo produtos químicos tóxicos, inflamáveis, corrosivos, radioativos, entre outros. Alguns

exemplos são Ácidos corrosivos, substâncias tóxicas, materiais radioativos, gases inflamáveis, entre outros.

**PRODUTOS EXPLOSIVOS:** substâncias ou dispositivos que têm a capacidade de liberar uma quantidade significativa de energia rapidamente na forma de calor, luz, som e gases. Esta categoria é específica para substâncias que têm a capacidade de explosão, seja de forma controlada, como nos explosivos industriais, ou de forma não controlada, como nos acidentes. Alguns exemplos são Dinamite, TNT (Trinitrotolueno), pólvora, nitroglicerina, entre outros.

Conhecendo essas características é possível definir a diferença entre produtos perigosos e produtos explosivos.

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. Produtos perigosos podem representar riscos diversos, como toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, entre outros, enquanto produtos explosivos se concentram no risco de explosão.

A análise dos fatores de risco no transporte rodoviário de produtos perigosos é estudada conforme necessidades que surgem, por exemplo as inovações tecnológicas e suas consequências para as empresas (X. Huang et al., 2021; C. Zhang, 2018). Porém, 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). Pesquisas tratam de forma genérica os produtos perigosos, negligenciando os riscos específicos dos explosivos e suas subclasses (Ren et al., 2012; Ilici et al., 2021). A distinção dos danos reside na liberação de energia rápida pelos explosivos, em contraste com os danos causados pela exposição prolongada a produtos perigosos (Liu et al., 2021). Produtos perigosos incluem substâncias químicas tóxicas, inflamáveis, corrosivas e radioativas, enquanto explosivos englobam materiais como dinamite e TNT (X. Ma et al., 2018).

Um modelo de decisão baseado em multicritérios que incorpore os principais fatores de risco no transporte rodoviário dos explosivos pode melhorar a segurança e apoiar o processo decisório na utilização desse modal.

Na literatura, os trabalhos que abordam os produtos perigosos geralmente não especificam a classe de produtos explosivos.

Um exemplo da superficialidade das pesquisas realizadas em programas de pós-graduação

Stricto Sensu, envolvendo produtos explosivos como o Nitrato de Amônio, não apresentam a classificação de produtos perigosos da ONU e, não o classificam como explosivo (De Pontes, 2013; Munaretti, 2002).

Outras pesquisas sobre explosivos e as leis sobre o transporte de produtos perigosos também descrevem os explosivos como “produtos perigosos” (Sartori & Cordeiro, 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). Na indústria de petróleo e gás, os explosivos são utilizados para perfuração de poços e exploração de minério. Outros setores que utilizam explosivos incluem a indústria bélica e de defesa, a indústria química e a indústria de pirotecnia (Q. Yang et al., 2018).

O setor de mineração de metais destinados às baterias de carros elétricos está enfrentando um aumento na demanda por explosivos. As principais fabricantes desses veículos preveem uma escassez global de níquel, cobre e outros minerais utilizados nas baterias, devido à falta de investimento no setor de mineração (Martins, 2022).

A mudança de comportamento global em direção ao maior consumo de produtos tecnológicos, especialmente com a projeção de aumento do uso de carros elétricos, deve impulsionar ainda mais a extração de lítio, níquel, manganês, cobalto e óxido de alumínio. Como resultado, a demanda por explosivos deve acompanhar essas tendências de crescimento (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, desenvolver 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, conforme a tabela 2. 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; Marques & Freitas, 2018b).

## 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, conforme apresentado na figura 2 (FELISONI et al., 2022).

No processo os valores da escala de Saaty que são 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)

Por exemplo, quando um tomador de decisão expressa que o Critério A é consideravelmente mais importante que o Critério B (A consideravelmente > B), essa preferência é representada internamente por meio de números Fuzzy triangulares (4, 5, 6). Em comparação, se a preferência fosse inversa (A consideravelmente < B), ela seria traduzida como (1/6, 1/5, 1/4) na matriz de contribuição (Guarino et al., 2012) (Araújo et al., 2022).

Existem diversas opções de escalas, tais como triangular, trapezoidal, gaussiana, entre outras. A triangular é a mais comum, como ilustrado na Figura 3, devido à sua simplicidade computacional, que simplifica o processamento de dados. Um número Fuzzy triangular pode ser representado da seguinte maneira: (l, m, u).

Onde:

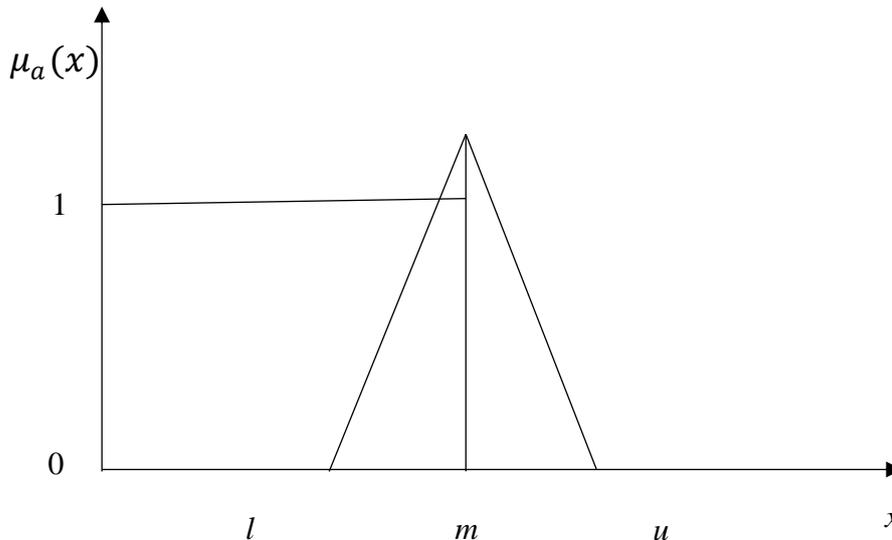
$l$  = limite inferior;

$m$  = valor modal (valor de pertinência = 1);

$u$  = limite superior.

**Figura 3**

*Número FUZZY Triangular*



*Fonte:* Elaborado pelos autores

Os valores coletados no método AHP são ponderados utilizando o modelo triangular para a comparação dos dados, após a ponderação os valores Fuzzy referentes ao AHP são utilizados na tabela de comparações pareadas.

A fuzificação é a etapa onde os dados de lógica Fuzzy se convertem em valores precisos dos conceitos Fuzzy 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).

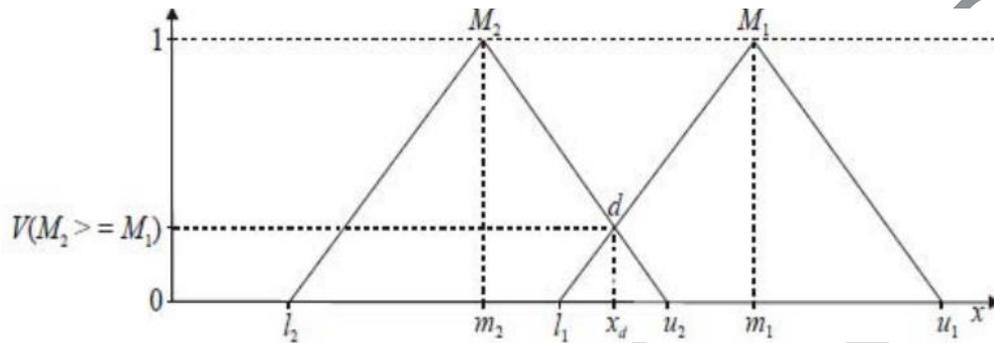
A transformação é realizada por meio de funções de pertinência associadas a conjuntos Fuzzy específicos (M. Yang et al., 2011).

Na triangularização, a função de pertinência de um conjunto Fuzzy é modelada usando uma função triangular. Uma função triangular tem a forma de um triângulo no espaço Fuzzy, onde

o valor máximo (1) é atribuído a um ponto central e diminui linearmente em ambas as direções, figura 4. Essa representação é utilizada para modelar a incerteza e a imprecisão em sistemas baseados em lógica Fuzzy (Ayyildiz & Taskin Gumus, 2021).

**Figura 4**

*Fuzificação dos números escala de Saaty*



Fonte: Elaborado pelos autores

Na teoria dos conjuntos Fuzzy, a fuzificação é guiada por alguns axiomas para garantir uma representação coerente e consistente. Os axiomas associados à fuzificação incluem:

**1. Axioma da Identidade (ID):**

- $\mu_A(x)$  é sempre igual a 1 quando  $x$  pertence exatamente ao conjunto  $A$ , e  $\mu_A(x)$  é igual a 0 quando  $x$  não pertence a  $A$ .

**2. Axioma da Normalização (N):**

- A soma total dos graus de pertinência de um valor  $x$  a todos os conjuntos Fuzzy possíveis é igual a 1.
- Matematicamente,  $\sum \mu_i(x) = 1$ , onde  $\mu_i(x)$  é o grau de pertinência de  $x$  ao conjunto fuzzy  $i$ .

**3. Axioma da Monotonicidade (M):**

- Se  $x$  pertence mais fortemente a  $A$  do que a  $B$ , então  $\mu_A(x)$  deve ser maior que  $\mu_B(x)$ .

Esses axiomas são fundamentais para garantir que a fuzificação preserve as propriedades lógicas e matemáticas necessárias para uma representação eficaz de valores em lógica Fuzzy. Cada axioma contribui para a consistência e interpretação do processo de fuzificação em contextos variados (Guarino *et al.*, 2012).

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A Metodologia da Pesquisa, apresenta a estratégia metodológica adotada para abordar a pergunta de pesquisa. Essa seção destaca as escolhas e justificativas dos métodos, técnicas e instrumentos utilizados na coleta e análise de dados.

#### 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, conforme abordado por Marconi e Lakatos (2010).

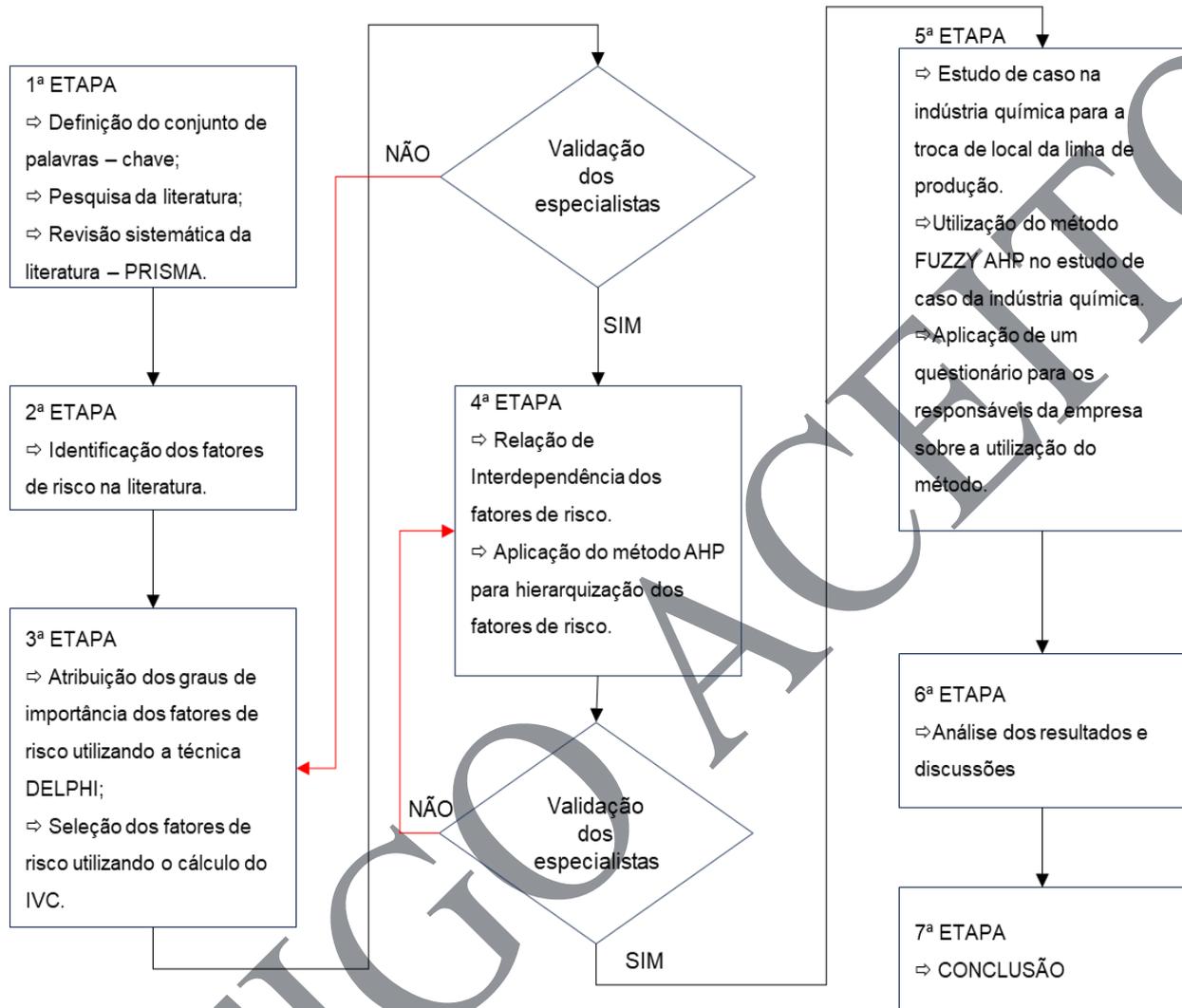
O método PRISMA é uma abordagem utilizada para melhorar a transparência e a qualidade na apresentação de revisões sistemáticas e meta-análises. O PRISMA 2020 é a versão mais recente das diretrizes, atualizando as versões anteriores para refletir avanços na metodologia e na prática da pesquisa (Page et al. 2022).

O PRISMA 2020 é composto por um checklist de 27 itens e um diagrama de fluxograma. Esses itens cobrem aspectos essenciais da revisão, como o escopo da pesquisa, critérios de inclusão e exclusão, métodos de análise, e como os dados foram extraídos e sintetizados.

A metodologia adotada consiste na aplicação de uma pesquisa combinada, conforme delineada por Creswell (2009), que envolve a integração de abordagens quantitativas e qualitativas em uma única de pesquisa. Para uma representação visual mais clara das etapas realizadas no decorrer da pesquisa, foi desenvolvida uma estrutura do método utilizado, como exemplificado na Figura 5.

**Figura 5**

*Estrutura do método das etapas da pesquisa*



Fonte: Elaborado pelos Autores

### 3.2 Seleção dos Fatores de Risco Utilizando o Cálculo do IVC – Índice de Validade de Conteúdo

Para avaliar a importância dos fatores de risco, foi utilizado o Índice de Validade de Conteúdo (IVC) nesse contexto 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, nesse caso cinco notas, conforme descrito na fórmula de cálculo do IVC (Kinjo, 2021).

$$IVC = \frac{\text{soma valores}}{n^{\circ} \text{ especialistas} \times \text{notas possíveis}}$$

Com a participação dos 10 especialistas para atribuição do grau de importância à cada um dos fatores de risco com uma 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, C. A. 2019 & Teles, H. (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.

Dessa forma foi possível realizar um agrupamento destes fatores, pois suas características são semelhantes, esse fato possibilitou estabelecer dois grupos de fatores de risco em torno dos fatores roubo e acidente.

### 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, esses “requisitos” levam as quadrilhas a observar situações e comportamentos que estão relacionados aos fatores de risco (Walendzik et al., 2021) (Accettura et al., 2014).

Esse agrupamento foi realizado por meio de consulta aos dez especialistas da área, os fatores de risco: falta de segurança, furto e comportamento do motorista possuem características que cooperam para o roubo.

O fator de risco falta de segurança pode ser observado de dois ângulos, tanto do roubo como de acidentes, mas nessa pesquisa, ele foi associado aos roubos pois em todas as ocorrências de roubo frustradas pela ação policial ou pela imperícia de assaltantes resultaram em acidentes.

Os acidentes são o resultado da falta de segurança óbvia nas ocorrências de roubo tanto as bem-sucedidas como as mal-sucedidas, nas ocorrências com sucesso da subtração do produto muitas vezes ocorrem acidentes posteriores devido a inabilidade de manuseio dos assaltantes, já nas ocorrências sem sucesso de subtração dos produtos sempre ocorrem acidentes relacionados a situação extraordinária.

O fator de risco furto, é o resultado do planejamento das quadrilhas que não tem a ação efetiva do roubo imediato da carga, mas realiza ações parciais como desvio de carga com a colaboração

de funcionários das empresas, se aproveitam de situações criadas artificialmente em conluio com terceiros para furtar pequenas partes de carregamentos de grande porte.

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 o processo é semelhante, 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 a 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 a produção de produtos explosivos e sua matéria prima.

Os responsáveis pela empresa ficaram interessados na aplicação do método Fuzzy AHP para auxiliar na tomada de decisão da mudança física da linha de produção da matéria prima de produtos explosivos.

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.

Porém, 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 e devido as consequências caso ocorra um acidente, dessa forma a empresa tem as seguintes opções:

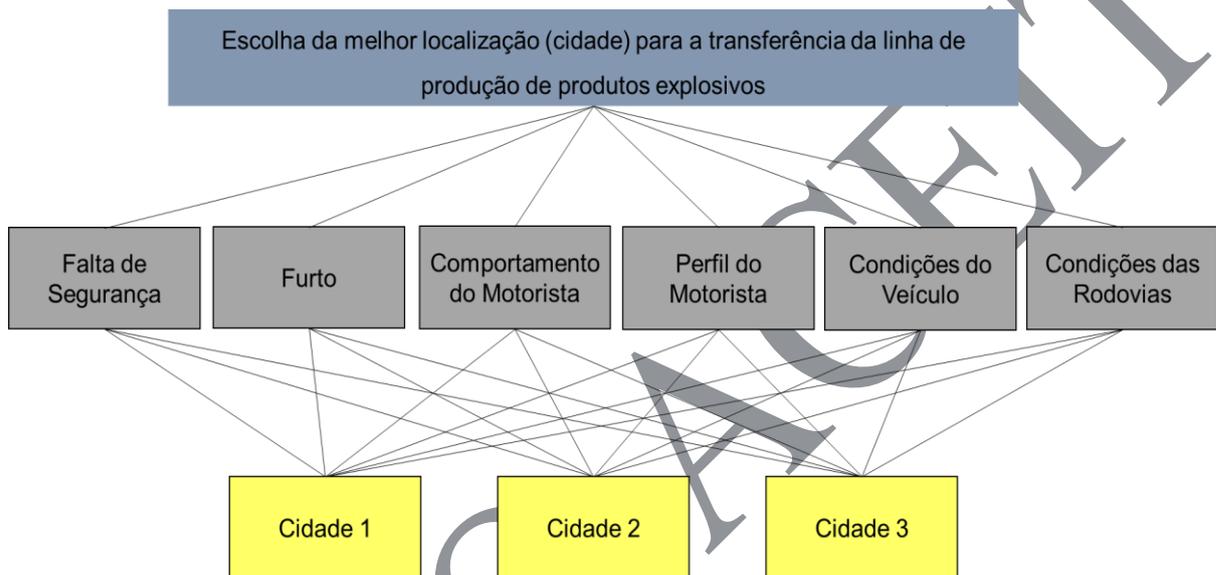
- 1 – A mudança da linha de produção para outra área dentro do terreno da empresa na cidade 1;
- 2 – A mudança para um galpão da empresa na cidade 2;

3 – A mudança para um galpão da empresa na cidade 3.

Para a realização do estudo de caso foi elaborado o modelo de decisão baseado no método Fuzzy AHP, mostrado na figura 6.

**Figura 6**

*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, são eles: o diretor presidente da empresa, o gerente de produção, a engenheira química responsável pelo departamento de compras e a diretora comercial da empresa.

Como eles já haviam participado das etapas anteriores esses especialistas foram orientados a preencher a matriz de comparação de critérios AHP, também foram informados sobre o processo de “fuzificação” para obtenção dos resultados. A matriz preenchida é mostrada na figura 7.

**Figura 7**

*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 necessário 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
<b>Condições das rodovias</b>	35,65%
<b>Comportamento do motorista</b>	25,58%
<b>Condições do veículo</b>	13,68%
<b>Falta de segurança</b>	8,96%
<b>Furto</b>	9,51%
<b>Perfil do motorista</b>	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.

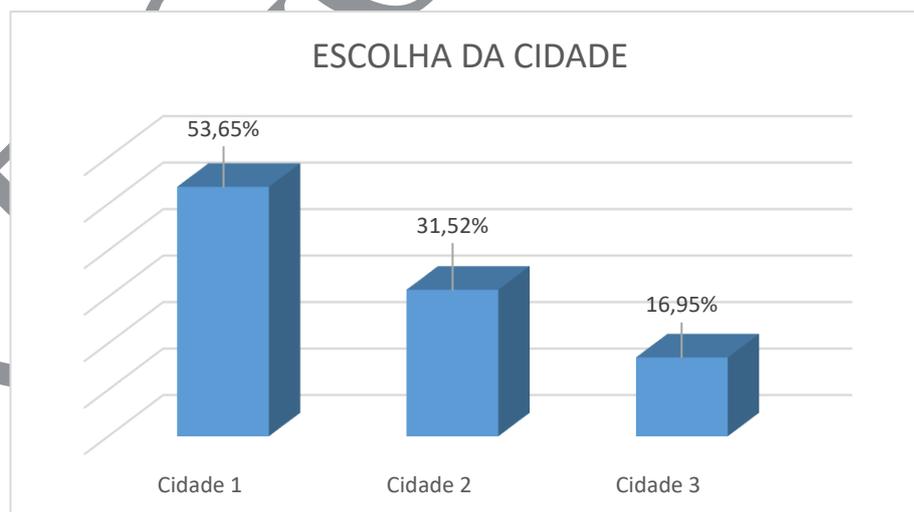
A criação de um modelo computacional é uma importante contribuição tanto para a literatura como para a prática, podendo ser aplicado ao setor do transporte de produtos explosivos, que conforme já foi descrito tende a crescer devido a necessidade da mineração de metais, principalmente para a recém-criada indústria de veículos elétricos.

O resultado do método Fuzzy AHP expressa a priorização relativa de alternativas com base nos critérios estabelecidos pelos decisores. Em outras palavras, fornece uma medida de preferência ou importância relativa das alternativas em relação aos critérios considerados. O resultado é apresentado na forma de um vetor de prioridades que indica a contribuição relativa de cada alternativa para a tomada de decisão.

A grandeza expressa nos resultados do Fuzzy AHP é uma medida de ponderação que reflete as preferências dos decisores e considera a incerteza associada a essas preferências. As prioridades são calculadas levando em conta as comparações par a par feitas pelo decisor, a hierarquia dos critérios e a lógica Fuzzy para lidar com a incerteza nas comparações. O resultado desse processo é mostrado na figura 8.

**Figura 8**

*Resultado da Escolha da Cidade para a nova Linha de Produção*



Fonte: Elaborado pelos Autores

A cidade 1 obteve em termos percentuais mais de cinquenta por cento da preferência dos responsáveis pela empresa, mostrando ser a melhor escolha na opinião dos responsáveis pela empresa, a cidade 3 por sua vez demonstrou um valor percentual muito baixo, isso demonstra

que há diversos fatores contrários para sua escolha.

## 5. 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, E., & Taskin Gumus, A. 2021).

Os resultados permitem explorar a resposta do modelo a mudanças nas preferências dos decisores, na formulação dos critérios Fuzzy ou em outras variáveis relevantes. Isso contribui para uma compreensão mais aprofundada das fontes de incerteza e imprecisão no processo decisório, oferecendo insights valiosos para aprimorar a robustez e confiabilidade do método Fuzzy AHP (Junior et al., 2021).

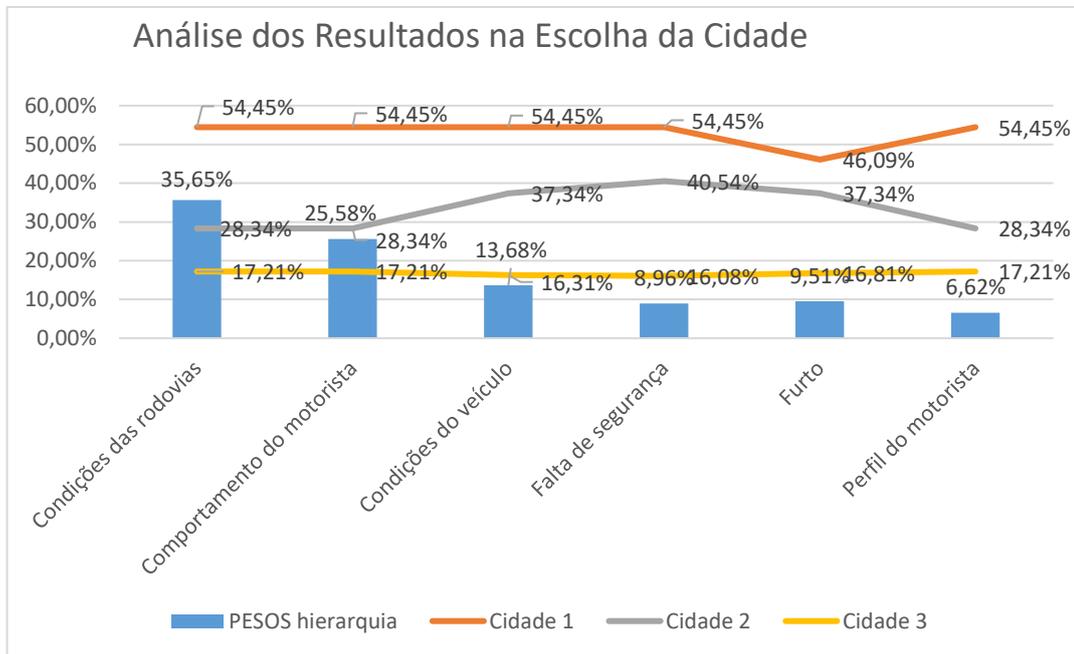
Por exemplo, a condição das rodovias é uma escolha relacionada com as rodovias de acesso de cada uma das cidades propostas, os motoristas, ajudantes e funcionários do transporte serão escolhidos em grande parte na região onde a linha de produção estiver instalada, esse fato influencia os fatores comportamento e perfil do motorista, a manutenção dos veículos será realizada na região da cidade escolhida, logo o fator de risco condições do veículo será impactado por esse fato.

Os fatores, falta de segurança e furto também serão analisados segundo a região das cidades colocadas como alternativas. O processo de análise será realizado com base no gráfico da figura 9 a seguir.

Observa-se com detalhes os valores da preferência da cidade 1 em relação as outras, todos fatores de risco tem uma preferência alta em relação as cidades 2 e 3, apenas o fator furto na cidade 1 tem valor inferior a cinquenta por cento. Um destaque importante é o fator falta de segurança, na cidade 2 ele tem um valor maior que o dobro em relação a cidade 3.

**Figura 9**

*Resultados da Escolha das cidades*



Fonte: Elaborado pelos Autores

Os resultados obtidos estão alinhados com a literatura em relação ao fator de risco condições das rodovias, esse fator de risco tem 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 e sua matéria prima.

As condições das rodovias também são fatores que figuram nos primeiros lugares de outras pesquisas devido a importância e relevância das consequências de trajetos onde as rodovias têm serviços de emergência inapropriados ou inexistente, problemas estruturais como buracos, fortes inclinações, objetos inesperados na pista e problemas com manutenção.

Os resultados também corroboram outros autores em relação ao grau de importância do comportamento do motorista, 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, dirigir sob o efeito de estimulantes, falta de sono ou estresse, fadiga e cansaço são a causa de diversos acidentes.

Outros fatores de risco como falta de segurança, furto e perfil do motorista apresentaram grau de importância abaixo de 10%, esses valores destoam das pesquisas de outras pesquisas, um dos motivos de influência sobre esses fatores a ser verificado é a localização das cidades e seus acessos. Também pode ser considerado o fato das rodovias serem concedidas a iniciativa privada (Saderova, et al., 2020), (Bernatik et al., 2021 & Xia et al., 2020).

## 6. CONCLUSÃO

Essa pesquisa teve como ponto de partida a escassez de trabalhos voltados para o transporte rodoviário de produtos perigosos classe 1, explosivos, uma vez que a literatura descreve produtos perigosos de forma generalizada, não utiliza a classificação dos produtos conforme a tabela da ONU, os trabalhos se concentram em produtos com “natureza explosiva”, ou seja, produtos que em caso de acidentes tem como consequência a explosão, mas, não são fabricados com essa finalidade.

A pesquisa tem como objetivo identificar, categorizar e classificar os riscos associados ao transporte de explosivos de acordo com sua relevância, além de criar um modelo para avaliar, prevenir e gerenciar esses riscos no contexto de uma análise de decisão multicritério.

Nesse contexto 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 e 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, permitiu 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. Além disso, busca desenvolver modelos de apoio à decisão, fundamentados teoricamente, para prever o comportamento dos produtos em diferentes cenários de transporte.

A abordagem inclui a combinação de técnicas, como FAHP para lidar com subjetividade, DELHPI para selecionar fatores de risco relevantes e IVA para classificar esses fatores no contexto do transporte rodoviário de produtos perigosos.

A pesquisa identifica os fatores de risco mais relevantes no transporte rodoviário de produtos explosivos, visando criar ações mitigatórias mais assertivas. Com potencial para aprimorar estratégias e promover a segurança, a pesquisa pode contribuir significativamente para a redução de incidentes prejudiciais nesse contexto. 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.

A pesquisa impôs algumas limitações, como o processo necessitou do auxílio de especialistas na área, divididos em dez especialistas na etapa geral e quatro especialistas no estudo de caso, também houve a necessidade de adequação ao tempo disponível por parte da empresa pesquisada e a necessidade de ajustes em relação a alguns procedimentos.

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. <https://doi.org/10.2495/SAFE-V4-N4-289-305>
- 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). <https://doi.org/10.3390/su14105753>
- Ayyildiz, 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. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13223-y>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.174>
- 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). <https://doi.org/10.3390/su132111993>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2004.08.011>
- 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). EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104280>
- F. Unikasari, I. Iftadi, W.A. Jauhari, & D. Danardono. (2013). *Study of the Factors That Affecting Automobile Seat Comfort*. IEEE.
- Fabiano, & Goulart. (2010). *AUXÍLIO À DECISÃO UTILIZANDO O MÉTODO AHP-ANÁLISE COMPETITIVA DOS SOFTWARES ESTATÍSTICOS*.
- 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. <https://doi.org/10.22478/ufpb.2236-417X.2022v12nespecial.62059>
- Felisoni, P., Silva Martins, F., & Felipe Henriques Librantz, A. (2021). *A study on knowledge management in IT services outsourcing in public companies using fuzzy-AHP A fuzzy-AHP analysis of IT outsourcing monitoring in public organizations View project Competitiveness for Urban Planning View project*. <https://www.researchgate.net/publication/355108505>
- Funô, K. A., Junior, J. M., & Marins, F. A. S. (2013). Risk factors in aerospace supply chain: Qualitative and quantitative aspects. *Producao*, 23(4), 832–845.  
<https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000016>
- Guarino, L. C., Taciana Gabriel Gussen, C., & Roberto Ribas, J. (2012). *O MÉTODO FUZZY AHP APLICADO À ANÁLISE DE RISCOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS EM FASE DE CONSTRUÇÃO*.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2078-z>
- 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.  
<https://doi.org/10.34140/bjbv5n3-011>
- Junior, W., Martins, F. S., & H Librantz, A. F. (2021). *RESISTANCE IN PROCESSES OF CHANGE IN INFORMATION TECHNOLOGY: A FUZZY AHP APPROACH RESISTÊNCIA EM PROCESSOS DE MUDANÇA EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO: UMA ABORDAGEM FUZZY AHP RESUMO*. 37(3), 2021.  
<https://doi.org/10.15628/holos.2021.10355>
- 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.07.026>
- 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). <https://doi.org/10.3390/ijerph15092011>
- Marques, J. B. V., & Freitas, D. de. (2018a). Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. *Pro-Posições*, 29(2), 389–415. <https://doi.org/10.1590/1980-6248-2015-0140>
- 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., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tziffl, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2022). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46, e112.  
<https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.112>
- Patel, P., & Sohani, N. (2016). System safety assessment based on past incidents in oil and gas industries: A focused approach in forecasting of minor, severe, critical, and catastrophic incidents, 2010-2015. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.  
<https://doi.org/10.1155/2016/3410637>
- Romeu, F., Brunstein, I., em Engenharia de Produção, D., Titular, P., Minoro Abe, J., em Matemática, B., & Filosofia, em. (1997). Um Estudo de Tomada de Decisão Baseado em Lógica Paraconsistente Anotada: Avaliação do Projeto de uma Fábrica. In *Artificial Intelligence etc*.
- Saaty. (1986). Axiomatic foundation analytic. *MANGEMENT SCIENCE*, 7.
- Saaty. (1994). *How Make Decision*.
- Saaty, T. L. (2003). *Decision Aiding Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary*. [www.elsevier.com/locate/dsw](http://www.elsevier.com/locate/dsw)

- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. In *Int. J. Services Sciences* (Vol. 1, Issue 1).
- Saaty, T. L. (2016). *THE ANALYTIC HIERARCHY AND ANALYTIC NETWORK PROCESSES FOR THE MEASUREMENT OF INTANGIBLE CRITERIA AND FOR DECISION-MAKING*.
- Saaty, T. L., & Hu, G. (1998). Ranking by Eigenvector Versus Other Methods in the Analytic Hierarchy Process. In *Appl. Math. Lett* (Vol. 11, Issue 4).
- Saaty, T. L., & Katz, J. M. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 48).
- Santos, A. R. F., Rodrigues, A. A., Rabelo, R., Abe, J. M., Sousa, N. C., Sobral, J. V. V., & Buonafina, M. A. M. (2017). *UMA ANÁLISE DO PROTOCOLO DE ROTEAMENTO RPL BASEADAS NA LÓGICA PARACONSISTENTE PARA INTERNET DAS COISAS*.
- Santos, H. H., & Siqueira, R. M. (2017). *ANALYTIC HIERARCHY PROCESS, ANALYTIC NETWORK PROCESS E FUZZY AHP: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS*. <https://www.researchgate.net/publication/321884233>
- 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. <https://doi.org/10.51891/rease.v7i11.3105>
- Şencan, M., & Yavuz, H. (2017). TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS: TURKEY MODEL. In *Journal of International Trade, Logistics and Law* (Vol. 3, Issue 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. In *Safety Science* (Vol. 92, pp. 1–9). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.09.008>
- 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. <https://doi.org/10.2478/jok-2021-0002>
- 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). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/741/1/012071>
- 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.

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2010.08.006>

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. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.02.001>

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). <https://doi.org/10.3390/app122111130>

Zadeh, L. (1965). *Fuzzy Sets*.

ARTIGO ACEITO