



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE INFORMÁTICA**

**PEDRO MANOEL DIAS BATISTA MARQUES DE ARAUJO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO  
BASEADO NO MÉTODO FTOPSIS CLASS**

Recife  
2025

**PEDRO MANOEL DIAS BATISTA MARQUES DE ARAÚJO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO  
BASEADO NO MÉTODO FTOPSIS-CLASS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação  
em Sistemas de Informação da Universidade Federal de Pernambuco,  
como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em  
Sistemas de Informação.

**Orientador:** Adiel Teixeira de Almeida Filho

Recife  
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Araujo, Pedro Manoel Dias Batista Marques de.

Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão baseado no método FTOPSIS-CLASS / Pedro Manoel Dias Batista Marques de Araujo. - Recife, 2025.

41 : il., tab.

Orientador(a): Adiel Teixeira de Almeida Filho

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, Sistemas de Informação - Bacharelado, 2025.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. FTOPSIS-Class. 2. Sistema de Apoio à Decisão. 3. Tomada de decisão multicritério. 4. Lógica fuzzy. 5. Métodos Fuzzy. I. Almeida Filho, Adiel Teixeira de. (Orientação). II. Título.

000 CDD (22.ed.)

PEDRO MANOEL DIAS BATISTA MARQUES DE ARAUJO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO BASEADO NO  
MÉTODO FTOPSIS-CLASS**

Trabalho de conclusão do curso apresentado ao curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Sistemas de informação.

Aprovado em: 06/08/2025.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida Filho (Orientador) Universidade  
Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Dr. Jamilson Ramalho Dantas (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

## AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão aos meus pais, Rosenilda e Elias, que, desde a infância, me ensinaram valores, me ofereceram apoio incondicional e estiveram ao meu lado em cada etapa desta caminhada. Sem eles, este trabalho — e muito mais do que ele representa — não teria sido possível.

Agradeço ao professor Adiel pela orientação, paciência e contribuições fundamentais durante o desenvolvimento deste trabalho. Seu conhecimento e disponibilidade foram essenciais para a realização deste projeto.

Agradeço também aos meus amigos de curso — Daniel, Maurício e Paula — que estiveram ao meu lado durante toda a trajetória acadêmica. Compartilhar essa caminhada com vocês tornou os desafios mais suportáveis e os momentos de conquista ainda mais significativos. Sou grato pela parceria e apoio ao longo desses anos.

Gostaria de agradecer também à minha namorada, Mylena, por me incentivar, me ouvir e me apoiar durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua presença fez toda a diferença.

*"A lógica tradicional não se aplica à vida terrestre, mas apenas a uma existência celestial imaginada". - Bertrand Russel*

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão baseado no método FTOPSIS-Class. O objetivo do sistema é auxiliar na classificação e categorização de alternativas com base em critérios e perfis definidos pelos usuários, todos expressos por meio de variáveis linguísticas. O método FTOPSIS-Class, proposto por Ferreira et al. (2018), estende o FTOPSIS tradicional ao adaptá-lo para problemas de classificação nominal com múltiplos critérios (MCNC), cujo principal propósito é atribuir opções a grupos homogêneos predefinidos — como perfis de clientes de investimento.

A implementação foi realizada em uma aplicação web, utilizando as linguagens React no front-end e Python no back-end, com uso das bibliotecas FastAPI, NumPy e Math. O sistema permite entrada flexível de critérios, alternativas e perfis, e foi desenvolvido sem persistência de dados, focando em uso pontual e seguro.

Foram conduzidos testes com dois conjuntos de dados: (i) o exemplo original do artigo de Ferreira et al. (2018), e (ii) uma tese de doutorado relacionada ao framework World-Class Manufacturing. Os resultados indicaram alta aderência do sistema ao método proposto, com destaque para: reprodução de 9 das 10 classificações esperadas no conjunto do artigo original e 16 das 24 classificações no conjunto da tese. As variações observadas nos coeficientes de proximidade foram pequenas e podem ser atribuídas a arredondamentos e diferenças de implementação.

O sistema demonstrou ser funcional, escalável e aplicável a diversos contextos decisórios, permitindo sua utilização em problemas reais com múltiplos critérios e julgamentos subjetivos.

**Palavras-chave:** FTOPSIS-Class. Sistema de Apoio à Decisão. Tomada de decisão multicritério. Lógica fuzzy. Aplicação Web. Métodos Fuzzy

# ABSTRACT

This work presents the development of a decision support system based on the FTOPSIS-Class method. The system's objective is to assist in the classification and categorization of alternatives based on criteria and predefined profiles, all expressed through linguistic variables. The FTOPSIS-Class method, proposed by Ferreira et al. (2018), extends the traditional FTOPSIS by adapting it to nominal classification problems with multiple criteria (MCNC), with the main purpose of assigning options to predefined homogeneous groups — such as investment client profiles.

The implementation was carried out as a web application, using React on the front-end and Python on the back-end, leveraging libraries such as FastAPI, NumPy, and Math. The system allows flexible input of criteria, alternatives, and classification profiles, and was designed without data persistence, focusing on a safe and temporary use.

Tests were conducted with two datasets: (i) the original example from Ferreira et al. (2018), and (ii) a doctoral thesis related to the World-Class Manufacturing framework. The results showed a strong adherence of the system to the proposed method, including the reproduction of 9 out of 10 expected classifications in the article dataset and 16 out of 24 in the thesis dataset. Small variations in proximity coefficients were observed and may be attributed to rounding or implementation differences.

The system proved to be functional, scalable, and applicable to various decision-making contexts, enabling its use in real-world problems involving multiple criteria and subjective evaluations.

**Keywords:** FTOPSIS-Class. Decision Support System. Multi-Criteria Decision Making. Fuzzy Logic. Web Application. Fuzzy Methods



# Sumário

<b>Agradecimentos</b>	<b>i</b>
<b>Epígrafe</b>	<b>ii</b>
<b>Resumo</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iv</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação e Justificativa . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	1
1.2.1 Objetivo Geral . . . . .	1
1.2.2 Objetivos Específicos . . . . .	2
1.3 Estrutura do Trabalho . . . . .	2
<b>2 Referencial Teórico</b>	<b>3</b>
2.1 Tomada de decisão Multicritério . . . . .	3
2.1.1 Elementos Fundamentais de um Problema MCDM . . . . .	3
2.1.2 Relevância e Aplicabilidade . . . . .	4
2.2 Sistemas de apoio à decisão . . . . .	5
2.2.1 Definição e Estrutura dos SADs . . . . .	5
2.2.2 Natureza e Aplicabilidade dos SADs . . . . .	6
2.3 Conjuntos fuzzy . . . . .	6
2.3.1 Definição Formal de Conjunto Fuzzy . . . . .	7
2.3.2 Números Fuzzy . . . . .	7
2.3.3 Variáveis Linguísticas . . . . .	7
2.3.4 Conjuntos Fuzzy na Tomada de Decisão . . . . .	8
2.4 TOPSIS . . . . .	8
2.4.1 Princípio Fundamental . . . . .	8
2.4.2 Procedimento do Método TOPSIS . . . . .	9
2.4.3 Vantagens e Limitações . . . . .	9
2.5 Fuzzy TOPSIS . . . . .	10
2.5.1 Fundamentação e Representação Fuzzy . . . . .	10

2.5.2	Etapas do Fuzzy-TOPSIS . . . . .	10
2.6	FTOPIS-CLASS . . . . .	12
2.6.1	Origem e Relação com o TOPSIS . . . . .	12
2.6.2	Lógica e Mecanismo de Funcionamento . . . . .	12
2.6.3	Algoritmo . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>15</b>
3.1	Etapas do Desenvolvimento . . . . .	15
3.2	Estudos de Caso Utilizados . . . . .	15
3.3	Ambiente de Desenvolvimento e Ferramentas Utilizadas . . . . .	16
3.4	Controle de Versão com GitHub . . . . .	16
3.5	Fluxo de Testes . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Proposta do sistema</b>	<b>17</b>
4.1	Concepção e Especificação da Aplicação . . . . .	17
4.1.1	Requisitos Funcionais . . . . .	17
4.1.2	Requisitos Não Funcionais . . . . .	18
4.1.3	Fluxo de Uso da Aplicação . . . . .	18
4.2	Implementação da Aplicação . . . . .	19
4.2.1	Tecnologias Utilizadas . . . . .	20
4.2.2	Arquitetura da Aplicação . . . . .	20
4.2.3	Estrutura Funcional dos Módulos . . . . .	21
4.2.4	Deploy da Aplicação . . . . .	21
4.3	Apresentação da Aplicação . . . . .	22
4.3.1	Tela Inicial . . . . .	22
4.3.2	Definição das Variáveis Linguísticas para Avaliação . . . . .	23
4.3.3	Definição das Variáveis Linguísticas para Pesos . . . . .	24
4.3.4	Definição das Alternativas e Critérios . . . . .	25
4.3.5	Avaliações das Alternativas . . . . .	26
4.3.6	Definição dos Perfis de Classificação . . . . .	28
4.3.7	Resultado da Classificação . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Testes e Resultados</b>	<b>31</b>
5.1	Conjuntos de Dados Utilizados . . . . .	31
5.2	Resultados . . . . .	32
5.2.1	4.3 Discussão dos Resultados . . . . .	36
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>37</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>38</b>

## Capítulo 1

# INTRODUÇÃO

### 1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A tomada de decisão com múltiplos critérios está presente em diversas situações do cotidiano e se torna especialmente desafiadora em ambientes com informações imprecisas ou subjetivas. Em cenários como a escolha de um investimento, a avaliação de um cliente ou a seleção de projetos, os tomadores de decisão precisam considerar atributos muitas vezes conflitantes, como risco, retorno, liquidez e preferências individuais.

Para lidar com esse tipo de problema, a literatura da pesquisa operacional oferece uma variedade de métodos multicritério, entre eles os baseados em lógica fuzzy, que se destacam por sua capacidade de tratar incertezas e subjetividades nas preferências humanas [3].

Neste contexto, o método FTOPSIS-Class, proposto em 2018, apresenta uma abordagem inovadora para problemas de Classificação Nominal com Múltiplos Critérios (MCNC). Em vez de apenas ordenar alternativas, como fazem os métodos tradicionais, o FTOPSIS-Class permite alocar cada alternativa a um perfil ou grupo predefinido, com base em avaliações linguísticas.[1]

A motivação para este trabalho surgiu da constatação da escassez de ferramentas acessíveis e genéricas que implementem o FTOPSIS-Class de forma prática, interativa e reproduzível. A ausência de soluções que permitam a aplicação direta desse método por usuários finais, mesmo fora do meio acadêmico, reforça a relevância de uma ferramenta que una rigor metodológico com usabilidade.

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma aplicação web baseada no método FTOPSIS-Class que permita a classificação de alternativas em perfis predefinidos, utilizando critérios avaliados por variáveis linguísticas, com foco em flexibilidade, escalabilidade e facilidade de uso.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Implementar o algoritmo FTOPSIS-Class em ambiente web com comunicação entre front-end e back-end.
- Permitir a definição de critérios, alternativas, variáveis linguísticas e perfis de classificação por meio de uma interface interativa.
- Validar a aplicação por meio da execução de testes com diferentes conjuntos de dados, oriundos de trabalhos acadêmicos.
- Disponibilizar uma ferramenta de uso pontual, que não exija armazenamento de dados do usuário.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- **Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:** apresenta os conceitos relacionados à decisão multicritério, lógica fuzzy e os métodos TOPSIS, Fuzzy TOPSIS e FTOPSIS-Class.
- **Capítulo 3 – Desenvolvimento da Aplicação:** descreve as tecnologias utilizadas, a arquitetura do sistema, os módulos implementados e o funcionamento da aplicação web desenvolvida.
- **Capítulo 4 – Testes e Resultados:** apresenta os testes realizados com diferentes conjuntos de dados extraídos da literatura e discute os resultados obtidos em comparação com as classificações esperadas.
- **Capítulo 5 – Conclusão:** resume os principais resultados alcançados, discute as limitações do projeto e sugere possíveis evoluções futuras.

## Capítulo 2

# REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

A Tomada de Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision Making* - MCDM), também conhecida como Análise de Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision Analysis* - MCDA), refere-se a uma classe de métodos desenvolvidos para tratar decisões complexas envolvendo múltiplos critérios que, frequentemente, são conflitantes entre si [3, 1]. Trata-se de um processo formal, estruturado e sistemático, cujo objetivo é apoiar o(a) tomador(a) de decisão (*Decision Maker* – DM) na identificação da alternativa mais adequada a partir de um conjunto de opções disponíveis, avaliadas sob diferentes pontos de vista.

Ao contrário de abordagens que buscam uma solução “ótima” única, o MCDM reconhece que, em muitos cenários da vida real, há múltiplas soluções não dominadas, todas válidas dependendo das preferências e prioridades do decisor [1]. Os critérios avaliativos normalmente envolvem *trade-offs*, ou seja, ganhos em certos aspectos exigem concessões em outros. A seleção de um veículo, por exemplo, pode incluir critérios como preço, consumo de combustível, conforto, manutenção, segurança e valor de revenda — características que podem entrar em conflito e variar conforme o perfil do consumidor [4].

O MCDM permite que os decisores conduzam uma análise mais aprofundada, extraindo informações valiosas que aumentam a qualidade e a confiança na escolha realizada. Essa característica o torna aplicável não apenas em contextos técnicos, como engenharia e logística, mas também em áreas como finanças, direito, psicologia, medicina e políticas públicas [6].

#### 2.1.1 Elementos Fundamentais de um Problema MCDM

Um modelo clássico de MCDM é composto por cinco elementos fundamentais:

- **Alternativas** ( $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ): representam os objetos de decisão ou cursos de ação disponíveis. O número de alternativas pode variar amplamente, desde poucos casos até milhares, a depender do domínio da aplicação [1].

- **Critérios** ( $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ ): também chamados de atributos, são os aspectos sob os quais as alternativas serão avaliadas. Eles podem ser quantitativos ou qualitativos, e seu número pode ser reduzido ou extenso (em modelos hierárquicos, pode chegar a centenas) [4].
- **Variáveis de decisão**: indicam os parâmetros que o decisor pode controlar dentro do processo.
- **Preferências**: refletem as prioridades ou julgamentos subjetivos do decisor sobre a importância relativa dos critérios.
- **Resultados esperados**: representam os objetivos ou metas a serem atingidas, conforme os valores atribuídos às alternativas nos critérios definidos.

A qualidade da informação utilizada no modelo MCDM influencia diretamente a confiabilidade da análise. Segundo Brugha (2004), essas informações devem atender a atributos como: acessibilidade, mensurabilidade, compreensibilidade, refinabilidade e verificabilidade [7].

### 2.1.2 Relevância e Aplicabilidade

A importância dos métodos MCDM está em sua capacidade de lidar com decisões complexas, multicriteriais e, muitas vezes, imprecisas. Eles são particularmente úteis quando a quantificação precisa dos dados é inviável, como na avaliação de atributos subjetivos — por exemplo, a estética de um produto, a conveniência de um serviço ou a percepção de risco em um investimento [4].

Além disso, as técnicas MCDM têm sido amplamente reconhecidas por sua capacidade de engajar os tomadores de decisão no processo de construção e análise do modelo, o que aumenta a legitimidade e aceitação dos resultados [6]. Elas oferecem uma estrutura sistemática para lidar com diferentes tipos de informações (quantitativas e qualitativas) e permitem transformar julgamentos linguísticos subjetivos em modelos numéricos confiáveis.

No contexto deste trabalho, o MCDM serve como base metodológica para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que integra lógica fuzzy à classificação de alternativas, por meio do método FTOPSIS-Class, que será discutido em seções posteriores.

## 2.2 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SADs), conhecidos em inglês como *Decision Support Systems* (DSS), constituem um marco importante na evolução da tecnologia da informação aplicada à gestão. Seu objetivo principal é auxiliar gestores e tomadores de decisão no processo decisório, oferecendo ferramentas computacionais que ampliem sua eficácia e capacidade analítica.

Diferentemente dos Sistemas de Processamento Eletrônico de Dados (PED) ou dos Sistemas de Informação Gerencial (SIG), os SADs não se limitam à automação de tarefas administrativas ou à geração de relatórios gerenciais. Tampouco são destinados exclusivamente à alta administração. Na verdade, representam uma “arma poderosa no arsenal da tecnologia da informação”, com potencial para apoiar decisões em diferentes níveis hierárquicos de uma organização [13].

A necessidade de sistemas dessa natureza surgiu a partir da constatação de que muitos problemas enfrentados pelas organizações — especialmente os que envolvem decisões complexas, incertas ou semiestruturadas — não podiam ser satisfatoriamente tratados pelas abordagens tradicionais de processamento de informação [13].

### 2.2.1 Definição e Estrutura dos SADs

O termo *Sistema de Apoio à Decisão* passou a ser amplamente utilizado a partir dos anos 1970, com destaque para os trabalhos de Michael S. Scott Morton, que inicialmente definiu os SADs como “sistemas interativos baseados em computador que ajudam os tomadores de decisão a utilizar dados e modelos para resolver problemas não estruturados” [13]. Com o tempo, essa definição foi ampliada para englobar qualquer sistema que contribua para a tomada de decisão organizacional, excetuando-se os sistemas voltados apenas ao processamento de transações.

Conceitualmente, um SAD é composto por três elementos centrais:

- **Base de dados:** contém os dados relevantes para o problema decisório.
- **Base de modelos:** agrega modelos analíticos, matemáticos ou heurísticos que auxiliam na análise do problema.
- **Sistema de software:** conecta o usuário às bases de dados e de modelos, geralmente organizado em três componentes:
  - *Database Management System (DBMS)*,
  - *Model Base Management System (MBMS)*,

- *Dialog Generation and Management System (DGMS)* — a interface de interação com o usuário.

### 2.2.2 Natureza e Aplicabilidade dos SADs

Os SADs são especialmente indicados para problemas semiestruturados, isto é, situações em que parte do processo decisório pode ser sistematizado, mas onde o julgamento humano ainda é essencial. Diferentemente de tarefas estruturadas (que podem ser completamente automatizadas) ou não estruturadas (que dependem inteiramente do discernimento humano), os problemas semiestruturados permitem uma síntese entre a inteligência humana e o processamento computacional, característica que define a utilidade dos SADs [13].

Uma característica distintiva desses sistemas é sua flexibilidade e capacidade evolutiva. SADs são frequentemente desenvolvidos com base em estratégias de design adaptativo, conhecidas como abordagem *middle-out*, que permite que o sistema evolua conforme as necessidades dos usuários. Isso significa que não há necessidade de se definir, de antemão, todos os requisitos funcionais — o sistema “final” emerge ao longo de seu uso prático [13].

Adicionalmente, observa-se que as aplicações reais dos SADs geralmente diferem das inicialmente previstas. Muitas das funcionalidades mais úteis e inovadoras só emergem com o tempo, durante o uso cotidiano, sendo personalizadas de acordo com o contexto organizacional. Essa adaptabilidade é uma das razões pelas quais os usuários frequentemente relatam benefícios como: melhoria na comunicação, maior flexibilidade, insights valiosos e aprendizado contínuo ao utilizar esses sistemas [13].

## 2.3 CONJUNTOS FUZZY

A modelagem de problemas de decisão no mundo real frequentemente enfrenta imprecisões, incertezas e subjetividades intrínsecas aos dados disponíveis e aos julgamentos dos tomadores de decisão [10]. Modelagens tradicionais, baseadas em representações nítidas, determinísticas e precisas, muitas vezes não são adequadas para capturar a complexidade da realidade, que é, por natureza, vaga e incerta.

Como apontado por B. Russell (1923), “a lógica tradicional não se aplica à vida terrestre, mas apenas a uma existência celestial imaginada” [10]. Complementando essa visão, Zadeh destacou que “à medida que a complexidade de um sistema aumenta, nossa capacidade de fazer afirmações precisas e ainda assim significativas sobre seu comportamento diminui” [12].

Para abordar essas limitações, Lotfi Zadeh introduziu, em 1965, a *Teoria dos Conjuntos Fuzzy*. Essa teoria propõe um novo arcabouço conceitual, distinto da lógica clássica



dos conjuntos *crisp*, pois permite representar a vaguidade, ou seja, a ausência de fronteiras claramente definidas para pertencimento a uma classe [12]. Trata-se, portanto, de uma estrutura matemática robusta para tratar de fenômenos conceituais vagos, em oposição à incerteza probabilística associada a variáveis aleatórias [10, 11, 12].

### 2.3.1 Definição Formal de Conjunto Fuzzy

Matematicamente, um conjunto fuzzy  $\tilde{A}$  definido sobre um universo de discurso  $X$  é caracterizado por uma função de pertinência:

$$\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0, 1]$$

Esse valor  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  indica o grau de pertencimento do elemento  $x \in X$  ao conjunto fuzzy  $\tilde{A}$ . Ao contrário dos conjuntos nítidos, nos quais a pertinência de um elemento é binária (0 ou 1), os conjuntos fuzzy admitem graus intermediários de associação, o que permite capturar a ambiguidade presente nos julgamentos humanos [9].

### 2.3.2 Números Fuzzy

Uma aplicação direta dos conjuntos fuzzy em sistemas de apoio à decisão é a utilização de *números fuzzy*, que são subconjuntos convexos e normais dos números reais. Esses números permitem representar valores imprecisos e são especialmente úteis em contextos de Tomada de Decisão Multicritério [4].

Entre os tipos mais utilizados destacam-se:

- **Números Fuzzy Triangulares:** representados por uma tripla  $(a_1, a_2, a_3)$ , onde  $a_1 \leq a_2 \leq a_3$ . O valor  $a_2$  representa o valor mais plausível, enquanto  $a_1$  e  $a_3$  indicam os limites inferior e superior de aceitação [9].
- **Números Fuzzy Trapezoidais:** definidos por uma quádrupla  $(a_1, a_2, a_3, a_4)$ , esses números oferecem maior flexibilidade e são especialmente úteis para representar intervalos linguísticos com regiões centrais de certeza e limites difusos [11, 9].

### 2.3.3 Variáveis Linguísticas

Outro conceito fundamental associado à teoria fuzzy é o de *variável linguística*. Uma variável linguística é aquela cujos valores são expressos por termos qualitativos, como “baixo”, “médio”, “alto”, entre outros [8]. Em problemas de decisão, é comum o uso de escalas linguísticas como: “Muito Baixo”, “Baixo”, “Médio”, “Alto” e “Muito Alto”.

Tais expressões são mapeadas por meio de números fuzzy triangulares ou trapezoidais, permitindo representar subjetividades de forma natural e compreensível [9].

### 2.3.4 Conjuntos Fuzzy na Tomada de Decisão

Ao permitir a modelagem da vaguidade e subjetividade dos julgamentos humanos, os conjuntos fuzzy desempenham papel central no desenvolvimento de métodos de apoio à decisão mais realistas e robustos. Em especial, nos métodos fuzzy aplicados à MCDM, como o Fuzzy TOPSIS e o FTOPSIS-Class, os conjuntos fuzzy possibilitam a integração de variáveis qualitativas e quantitativas em uma única estrutura de análise [1, 8, 9].

## 2.4 TOPSIS

O método TOPSIS (do inglês *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), desenvolvido por Hwang e Yoon em 1981, é um dos métodos mais reconhecidos e aplicados da família da Tomada de Decisão Multicritério (MCDM). Seu objetivo é apoiar a escolha entre alternativas avaliadas por múltiplos critérios, assumindo que a melhor alternativa é aquela que apresenta menor distância da Solução Ideal Positiva (PIS) e, simultaneamente, maior distância da Solução Ideal Negativa (NIS) [4, 1, 6, 5].

Desde sua proposição, o TOPSIS tem sido amplamente utilizado em diversos domínios, como engenharia, logística, gestão, saúde e análise de investimentos, especialmente em problemas de avaliação, priorização e classificação de alternativas finitas [6].

### 2.4.1 Princípio Fundamental

O princípio central do TOPSIS é baseado na ideia de proximidade à solução ideal, onde:

- **A Solução Ideal Positiva (PIS)** representa os melhores valores possíveis para todos os critérios — máximos para critérios do tipo benefício e mínimos para critérios do tipo custo [4, 1, 5];
- **A Solução Ideal Negativa (NIS)** representa os piores valores possíveis — mínimos para critérios do tipo benefício e máximos para critérios do tipo custo [4, 1, 5].

A alternativa mais adequada será, portanto, aquela mais próxima da PIS e mais distante da NIS. Essa característica de busca por uma solução de compromisso torna o TOPSIS particularmente eficiente em situações com critérios conflitantes, preservando a monotonicidade da utilidade em cada critério [6, 5].

### 2.4.2 Procedimento do Método TOPSIS

O processo de aplicação do TOPSIS envolve seis etapas principais [4, 6]:

1. **Construção da matriz de decisão normalizada:** os dados brutos das alternativas em relação aos critérios são organizados e normalizados, tornando-os adimensionais para viabilizar comparações — especialmente quando os critérios possuem unidades diferentes.
2. **Atribuição de pesos aos critérios:** cada critério recebe um peso representando sua importância relativa no processo decisório. Esses pesos podem ser definidos por especialistas, métodos estatísticos, técnicas fuzzy, entre outros.
3. **Construção da matriz de decisão ponderada:** a matriz normalizada é multiplicada pelos pesos de cada critério, resultando na matriz ponderada.
4. **Determinação das soluções ideais:** são definidos a PIS (melhores valores por critério) e a NIS (piores valores), levando em conta se o critério é de benefício ou custo.
5. **Cálculo das distâncias euclidianas:** calcula-se a distância de cada alternativa até a PIS ( $S_i^+$ ) e até a NIS ( $S_i^-$ ), utilizando normalmente a métrica euclidiana.
6. **Cálculo do coeficiente de proximidade relativa ( $C_i$ ):**

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

O valor de  $C_i$  varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior a proximidade da alternativa em relação à solução ideal, indicando melhor desempenho.

### 2.4.3 Vantagens e Limitações

O TOPSIS apresenta diversas vantagens que justificam sua ampla adoção:

- Demonstra eficiência no cálculo geral e tem a capacidade de medir o desempenho relativo de cada alternativa de forma matematicamente simples [6].
- Os cálculos envolvidos são relativamente simples e fáceis de entender, o que facilita sua adoção por gestores e decisores [6].
- Permite identificar rapidamente a melhor alternativa entre as opções disponíveis [6].

Entretanto, o método também apresenta limitações:

- Assume independência entre os critérios, o que pode ser irrealista em alguns contextos, dado o uso da distância euclidiana [6].
- Exige critérios monotonicamente crescentes ou decrescentes para manter a coerência da avaliação [6].
- A definição dos pesos pode ser subjetiva, e o método não fornece uma técnica nativa para essa atribuição [6].

A estrutura lógica do TOPSIS serviu como base para diversas extensões e aprimoramentos, incluindo sua versão fuzzy, o *Fuzzy-TOPSIS*, e posteriormente o *FTOPSIS-Class*, que será explorado nas seções seguintes.

## 2.5 FUZZY TOPSIS

O *Fuzzy TOPSIS* é uma extensão do método clássico TOPSIS, projetada para resolver problemas de Tomada de Decisão Multicritério (MCDM) em ambientes com incertezas ou imprecisão linguística [8, 3, 2]. Essa abordagem é especialmente útil quando os julgamentos dos tomadores de decisão são subjetivos e não podem ser representados com precisão por valores numéricos exatos [8].

### 2.5.1 Fundamentação e Representação Fuzzy

Os pesos dos critérios e as avaliações das alternativas são expressos por termos linguísticos e, em seguida, transformados em números fuzzy — geralmente do tipo triangular ou trapezoidal. Exemplos comuns incluem representações como “Muito Baixo” (0.00, 0.10, 0.30) ou “Muito Bom” (9, 10, 10) [8, 9].

A metodologia baseia-se na Teoria dos Conjuntos Fuzzy, proposta por Zadeh em 1965, que permite modelar a vaguidade e imprecisão inerentes aos julgamentos humanos. Um número fuzzy é um subconjunto de  $\mathbb{R}$  caracterizado por propriedades como normalidade, convexidade e semicontinuidade superior [3, 4, 8, 9].

### 2.5.2 Etapas do Fuzzy-TOPSIS

O procedimento do método Fuzzy TOPSIS é composto pelas seguintes etapas:

1. **Atribuição de pesos e avaliações linguísticas:** Os decisores atribuem classificações fuzzy às alternativas em relação aos critérios e também definem os pesos fuzzy dos critérios [8]. Em contextos de decisão em grupo, essas informações podem ser agregadas [9].

2. **Construção da matriz de decisão fuzzy:** As classificações e os pesos são convertidos em uma matriz fuzzy de decisão. Em seguida, essa matriz é normalizada, com fórmulas distintas para critérios de benefício e de custo [1, 9, 2].
3. **Matriz de decisão ponderada:** A matriz fuzzy normalizada é ponderada pela multiplicação dos valores fuzzy pelos respectivos pesos dos critérios [8, 1, 9].
4. **Determinação da FPIS e FNIS:**
  - A **FPIS** (Solução Ideal Positiva Fuzzy) representa o melhor desempenho para cada critério [1, 2];
  - A **FNIS** (Solução Ideal Negativa Fuzzy) representa o pior desempenho [1, 2].
5. **Cálculo das distâncias fuzzy:** Utiliza-se o método do vértice para calcular as distâncias entre números fuzzy triangulares. Seja  $\tilde{x} = (a_1, b_1, c_1)$  e  $\tilde{y} = (a_2, b_2, c_2)$ , a distância euclidiana é dada por:

$$d(\tilde{x}, \tilde{y}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]}$$

Para números fuzzy trapezoidais  $\tilde{x} = (a_1, b_1, c_1, d_1)$  e  $\tilde{y} = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ :

$$d(\tilde{x}, \tilde{y}) = \sqrt{\frac{1}{4} [(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2 + (d_1 - d_2)^2]}$$

Esse método é amplamente utilizado por sua simplicidade e eficiência computacional [8, 9].

6. **Cálculo do coeficiente de proximidade:** O coeficiente  $CC_i$  de uma alternativa  $i$  é dado por:

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

Onde:

- $d_i^+$ : distância entre a alternativa  $i$  e a FPIS;
- $d_i^-$ : distância entre a alternativa  $i$  e a FNIS.

Quanto maior o valor de  $CC_i$ , mais próxima está a alternativa da solução ideal fuzzy positiva — e, portanto, mais preferível [8, 9, 2].

## 2.6 FTOPSIS-CLASS

O *FTOPSIS-Class* é um método inovador de apoio à decisão multicritério (MCDM), pertencente à classe dos modelos de classificação fuzzy. Foi proposto por Ferreira et al. (2018) com o objetivo de oferecer uma abordagem transparente, compreensível e operacionalmente viável para resolver problemas de Classificação Nominal com Múltiplos Critérios (MCNC). Ao contrário de métodos voltados à ordenação de alternativas, o *FTOPSIS-Class* visa atribuir alternativas a categorias predefinidas, como perfis de risco, níveis de maturidade ou graus de prioridade [1].

No contexto em que foi originalmente desenvolvido, o método foi aplicado à análise de portfólios de investimento, respeitando requisitos regulatórios e preferências dos investidores. Sua estrutura valoriza a transparência na comunicação com o usuário final, permitindo que decisões complexas sejam tomadas com base em avaliações linguísticas, sem recorrer a formalismos matemáticos excessivamente sofisticados [1].

### 2.6.1 Origem e Relação com o TOPSIS

A formulação do *FTOPSIS-Class* tem origem no método clássico *TOPSIS* (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), desenvolvido por Hwang e Yoon (1981). O *TOPSIS* seleciona a melhor alternativa com base em sua proximidade da solução ideal positiva (melhor desempenho possível) e seu afastamento da solução ideal negativa (pior desempenho possível). Essa lógica compensatória foi posteriormente estendida ao ambiente fuzzy por Chen (2000), permitindo que tanto os pesos dos critérios quanto as avaliações das alternativas fossem expressos por meio de variáveis linguísticas, modeladas como números fuzzy triangulares [1].

O *FTOPSIS-Class* é, portanto, uma especialização do *Fuzzy-TOPSIS*, adaptada para problemas de classificação, e não apenas de ordenação. A motivação para sua formulação decorre da necessidade de métodos que considerem variáveis linguísticas e racionalidade compensatória em contextos onde os perfis-alvo (categorias de classificação) são também definidos de forma imprecisa [2]. Diferentemente de outras abordagens que apenas adaptam o *TOPSIS* para classificação ordinal, o *FTOPSIS-Class* foi desenvolvido para permitir uma discriminação precisa entre alternativas e perfis fuzzy, respeitando a ambiguidade inerente aos dados subjetivos [1].

### 2.6.2 Lógica e Mecanismo de Funcionamento

A lógica central do *FTOPSIS-Class* baseia-se na definição de uma solução ideal positiva e uma solução ideal negativa para cada perfil. Em vez de uma única referência global,

o método avalia, para cada perfil ou classe, o quão próxima está cada alternativa da idealidade correspondente. Assim, uma alternativa será atribuída ao perfil para o qual apresentar maior grau de adequação.

Matematicamente, essa adequação é expressa pelo **coeficiente de similaridade** ou **coeficiente de classificação** ( $CC_{pi}$ ), que representa o grau de pertencimento da alternativa  $i$  ao perfil  $p$ . Esse coeficiente é calculado com base na distância euclidiana fuzzy da alternativa em relação à solução ideal positiva ( $D_p^+$ ) e negativa ( $D_p^-$ ), conforme a equação:

$$CC_{pi} = \frac{D_p^-}{D_p^+ + D_p^-} \quad (2.1)$$

Quanto maior o valor de  $CC_{pi}$ , maior a adequação da alternativa  $i$  ao perfil  $p$ . Ao final, cada alternativa é atribuída ao perfil para o qual obteve o maior valor de  $CC_{pi}$  [1].

Essa abordagem híbrida oferece um meio eficaz de lidar com informações imprecisas, linguísticas e contextuais, ampliando a aplicabilidade dos métodos multicritério fuzzy a cenários reais de classificação, como os encontrados em *private banking*, gestão de risco e cadeias de suprimentos [1, 2].

### 2.6.3 Algoritmo

O algoritmo FTOPSIS-Class, conforme proposto por Ferreira et al. (2018), segue uma sequência estruturada de etapas para permitir a classificação de alternativas em perfis predefinidos, considerando critérios avaliados linguisticamente por meio de lógica fuzzy. A seguir, apresenta-se a sequência de passos implementados no sistema, conforme a formulação original:

**Etapas 1:** Estruturar o problema de decisão, identificando os tomadores de decisão (DMs), critérios e alternativas.

**Etapas 2:** Escolher os termos linguísticos para definir: (i) a importância dos critérios e (ii) o desempenho das alternativas.

**Etapas 3:** Calcular a matriz de decisão fuzzy normalizada  $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ :

$$\tilde{r}_{ij} = \begin{cases} \left( \frac{a_{ij}}{d_j^*}, \frac{b_{ij}}{d_j^*}, \frac{c_{ij}}{d_j^*}, \frac{d_{ij}}{d_j^*} \right) & \text{se } j \in B \\ \left( \frac{a_j^-}{a_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{d_{ij}} \right) & \text{se } j \in C \end{cases}$$

Onde:

- $B$  representa o conjunto de critérios do tipo **benefício**, em que  $d_j^* = \max_i d_{ij}$ ;
- $C$  representa o conjunto de critérios do tipo **custo**, em que  $a_j^- = \min_i a_{ij}$ .

**Etapa 4:** Calcular a matriz fuzzy normalizada ponderada:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j$$

**Etapa 5:** Para cada perfil  $p$ , executar:

- Definir solução ideal positiva:  $\tilde{A}_p^+ = \{\tilde{v}_{p1}, \dots, \tilde{v}_{pn}\}$  com  $\tilde{v}_{pj} = \tilde{q}_{pj}$
- Definir solução ideal negativa:  $\tilde{A}_p^- = \{\tilde{v}'_{p1}, \dots, \tilde{v}'_{pn}\}$ , onde  $\tilde{v}'_{pj}$  vem do perfil mais distante  $p'$
- Calcular distâncias:

$$d_{pi}^+ = \sum_{j=1}^n \delta(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_{pj}), \quad d_{pi}^- = \sum_{j=1}^n \delta(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}'_{pj})$$

- Calcular similaridade:

$$CC_i^p = \frac{d_{pi}^-}{d_{pi}^+ + d_{pi}^-}$$

**Etapa 6:** Atribuir a alternativa  $i$  ao perfil com maior similaridade:

$$p_i^* = \arg \max_{p \in \mathcal{P}} CC_i^p$$

—



## Capítulo 3

# METODOLOGIA

Este capítulo descreve as etapas metodológicas adotadas para a concepção, desenvolvimento, testes e avaliação da aplicação web baseada no método FTOPSIS-Class. A metodologia seguiu uma abordagem incremental, guiada pela análise da literatura, definição dos requisitos funcionais e não funcionais, implementação do sistema e realização de testes com dados reais.

### 3.1 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO

O processo metodológico foi estruturado nas seguintes etapas:

- Levantamento bibliográfico sobre métodos multicritério, conjuntos fuzzy, sistemas de apoio à decisão e o algoritmo FTOPSIS-Class;
- Definição dos requisitos funcionais e não funcionais do sistema;
- Modelagem da aplicação em arquitetura cliente-servidor;
- Implementação do front-end com *React* e *Vite*, utilizando a biblioteca *Shadcn/UI* para componentes visuais;
- Desenvolvimento do back-end com *Python*, utilizando *FastAPI*, *NumPy* e *Uvicorn* para tratamento e processamento dos dados;
- Realização de testes com dados extraídos de artigos científicos e teses acadêmicas;
- Análise dos resultados e verificação da aderência do sistema ao algoritmo FTOPSIS-Class.

### 3.2 ESTUDOS DE CASO UTILIZADOS

Os testes foram conduzidos com dois conjuntos de dados oriundos da literatura:

- O exemplo original proposto por Ferreira et al. (2018), aplicado à categorização de perfis de investidores em instituições financeiras;
- Uma tese de doutorado que aplica o FTOPSIS-Class à classificação de alternativas considerando critérios de custo e segurança no contexto de fábricas World-Class Manufacturing.

Estes estudos de caso foram fundamentais para avaliar a capacidade do sistema em reproduzir resultados esperados e lidar com diferentes domínios de aplicação.

### 3.3 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Durante a fase de desenvolvimento do sistema, foram selecionadas tecnologias compatíveis com os objetivos do projeto e com a necessidade de agilidade na implementação. A interface do usuário foi desenvolvida utilizando Vite com React, aproveitando os componentes prontos e responsivos da biblioteca Shadcn/UI. O back-end, por sua vez, foi implementado em Python, utilizando as bibliotecas FastAPI e Uvicorn para a criação da API, NumPy e math para os cálculos numéricos. A comunicação entre as camadas da aplicação é feita por meio do padrão JSON, e o deploy do servidor foi realizado na plataforma Railway.

### 3.4 CONTROLE DE VERSÃO COM GITHUB

Durante todo o processo de desenvolvimento, foi utilizado o sistema de controle de versão *Git*, com repositório hospedado na plataforma *GitHub*. Essa prática permitiu o registro incremental de alterações, facilitando o rastreamento das etapas de implementação, testes e correções.

O versionamento também garantiu maior segurança, ao manter cópias de trabalho sempre atualizadas e sincronizadas, além de favorecer possíveis colaborações e reprodutibilidade do projeto em ambiente acadêmico ou profissional.

### 3.5 FLUXO DE TESTES

Após a finalização da implementação, os dados foram preparados em conformidade com o modelo esperado pelo sistema, especialmente quanto à estrutura das variáveis linguísticas, avaliações e perfis fuzzy. As saídas do sistema foram então comparadas com os resultados esperados, conforme publicados nos estudos de caso selecionados.

## Capítulo 4

# PROPOSTA DO SISTEMA

### 4.1 CONCEPÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DA APLICAÇÃO

O presente capítulo descreve a concepção, estrutura e os requisitos da aplicação web desenvolvida com base no método *FTOPSIS-Class*. O objetivo principal do sistema é oferecer uma ferramenta acessível e flexível para a classificação nominal de alternativas por meio de critérios definidos linguisticamente, possibilitando ao usuário realizar uma análise multicritério com variáveis subjetivas e imprecisas.

A lógica de decisão implementada na aplicação fundamenta-se no método *FTOPSIS-Class*, que permite a atribuição de alternativas a grupos predefinidos, como perfis de risco, níveis de prioridade ou categorias de avaliação. A aplicação foi concebida como um sistema web, acessível por navegadores modernos.

A seguir, são apresentados os requisitos funcionais e não funcionais do sistema, seguidos do fluxo de uso da aplicação conforme o processo decisório modelado.

#### 4.1.1 Requisitos Funcionais

A aplicação desenvolvida contempla os seguintes requisitos funcionais:

- RF01** Permitir ao usuário definir as variáveis linguísticas associadas aos pesos das alternativas (ex.: baixo, médio, alto).
- RF02** Permitir ao usuário definir as variáveis linguísticas associadas aos pesos dos critérios (ex.: pouco importante, importante, muito importante).
- RF03** Permitir o cadastro das alternativas, com seus respectivos nomes (ex.: Fundo A, Fundo B).
- RF04** Permitir o cadastro dos critérios, com os seguintes atributos: nome, peso linguístico e tipo (benefício ou custo).
- RF05** Permitir a avaliação de cada alternativa com relação a cada critério, utilizando valores linguísticos definidos pelo usuário.

- RF06** Permitir a criação e definição dos perfis de classificação, especificando o valor esperado de cada critério para cada perfil.
- RF07** Executar o método *FTOPSIS-Class* para calcular a adequação de cada alternativa a cada perfil.
- RF08** Exibir os resultados da classificação, incluindo o coeficiente de similaridade ( $CC_i$ ) e o grupo final atribuído a cada alternativa.

#### 4.1.2 Requisitos Não Funcionais

Além dos requisitos funcionais, a aplicação atende a um conjunto de requisitos não funcionais, conforme descrito a seguir:

- RNF01** A aplicação deve ser acessível por meio de navegadores modernos, como Google Chrome, Mozilla Firefox e Microsoft Edge.
- RNF02** A interface gráfica deve ser responsiva e intuitiva, visando à facilidade de uso por usuários não especialistas em métodos multicritério.
- RNF03** O sistema deve permitir a definição de qualquer quantidade de critérios e alternativas, mantendo a escalabilidade do algoritmo.
- RNF04** O desempenho da aplicação deve ser satisfatório para conjuntos de dados de pequeno porte (até 25 alternativas simultâneas).
- RNF05** As variáveis linguísticas utilizadas na entrada devem ser automaticamente convertidas em números fuzzy do tipo trapezoidal.

#### 4.1.3 Fluxo de Uso da Aplicação

O processo de uso do sistema foi estruturado para seguir uma sequência lógica que guia o usuário desde a definição dos elementos do problema até a visualização dos resultados. O fluxo de uso está dividido nas seguintes etapas:

1. **Definição das variáveis linguísticas para os pesos das alternativas:** o usuário cadastra os termos linguísticos que representarão a avaliação de desempenho das alternativas nos critérios (ex.: baixo, moderado, alto).
2. **Definição das variáveis linguísticas para os pesos dos critérios:** o usuário define os termos que indicarão a importância relativa de cada critério no processo de decisão (ex.: pouco relevante, muito relevante).

3. **Cadastro das alternativas:** o usuário insere as alternativas que serão classificadas (ex.: diferentes fundos de investimento, projetos, produtos etc.).
4. **Cadastro dos critérios:** o usuário informa o nome de cada critério, associa um peso linguístico à sua importância e define se o critério é do tipo benefício (quanto maior, melhor) ou custo (quanto menor, melhor). Este procedimento é feito na mesma página do cadastro das alternativas.
5. **Avaliação das alternativas:** o sistema solicita que o usuário avalie cada alternativa em relação a cada critério, utilizando os valores linguísticos definidos anteriormente.
6. **Criação e definição dos perfis de classificação:** o usuário cria os grupos aos quais deseja classificar as alternativas (ex.: conservador, moderado, arrojado) e define os valores linguísticos esperados para cada critério em cada perfil.
7. **Processamento e exibição dos resultados:** o sistema executa o algoritmo *FTOPSIS-Class* com base nas informações fornecidas e exibe os coeficientes de similaridade de cada alternativa para cada perfil, bem como a classificação final atribuída.

Este fluxo de operação foi concebido de modo a oferecer transparência, flexibilidade e interatividade ao usuário, permitindo que o sistema seja utilizado em diferentes contextos e com diferentes configurações de critérios e perfis.

## 4.2 IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO

A aplicação desenvolvida neste trabalho foi projetada como uma ferramenta web interativa com o objetivo de tornar o método FTOPSIS-Class acessível a usuários que desejam realizar classificações nominais com múltiplos critérios. A ferramenta visa atender desde usuários leigos até pesquisadores que desejam aplicar o método em estudos acadêmicos.

A arquitetura da aplicação adota o modelo cliente-servidor, sendo o *front-end* desenvolvido com Vite + React + Shadcn/UI, enquanto o *back-end* foi implementado em Python, utilizando FastAPI como *framework* para construção da API e Uvicorn como servidor ASGI para execução. O foco do *back-end* é exclusivamente o processamento do algoritmo FTOPSIS-Class. Não há uso de banco de dados, uma vez que o sistema foi concebido para uso pontual, sem armazenamento de informações dos usuários.

4.2.1 Tecnologias Utilizadas

As tecnologias adotadas foram selecionadas com base na compatibilidade, modularidade e facilidade de integração. A Tabela 4.1 apresenta um resumo das ferramentas empregadas em cada camada da aplicação.

Tabela 4.1: Tecnologias utilizadas no desenvolvimento da aplicação

Camada	Ferramentas / Bibliotecas	Justificativa Técnica
Front-end	Vite + React + Shadcn/UI	Ambiente de desenvolvimento rápido, componentes reutilizáveis e estilização moderna
Back-end	Python + FastAPI + Uvicorn + NumPy + Math	FastAPI e Uvicorn para construção e execução da API; bibliotecas matemáticas para cálculos fuzzy e manipulação de dados

Fonte: Aplicação criada pelo autor

4.2.2 Arquitetura da Aplicação

A estrutura da aplicação é dividida em duas camadas principais:

**a) Front-End (Interface do Usuário)** Desenvolvido com Vite + React e estilizado com Shadcn/UI, o *front-end* é responsável por interagir com o usuário, guiando-o por todas as etapas do processo de decisão — desde a definição das variáveis linguísticas até a visualização dos resultados. O uso de componentes prontos e acessíveis do Shadcn/UI proporcionou agilidade ao desenvolvimento e uma interface responsiva.

**b) Back-End (Processamento Lógico)** A lógica do algoritmo FTOPSIS-Class foi implementada em Python, utilizando:

- **NumPy**: para operações matriciais;
- **Math**: para funções matemáticas elementares;
- **FastAPI**: para construção da API RESTful;

- **Uvicorn:** para execução da aplicação no servidor.

O *back-end* recebe os dados do *front-end*, processa o algoritmo e retorna os resultados, mantendo o foco em eficiência e modularidade.

#### 4.2.3 Estrutura Funcional dos Módulos

A aplicação está organizada em três módulos principais, que refletem as etapas do processo de decisão fuzzy multicritério:

**a) Módulo de Interface (Front-End)** Responsável por coletar os dados do usuário: critérios, alternativas, perfis, pesos linguísticos e avaliações. Após a coleta, os dados são estruturados em formato JSON e enviados ao servidor via requisição HTTP.

**b) Módulo de Processamento (Back-End)** Recebe os dados e executa o algoritmo FTOPSIS-Class, realizando as seguintes operações:

- Normalização dos dados;
- Operações fuzzy (transformação de variáveis linguísticas em números fuzzy);
- Cálculo das distâncias às soluções ideais fuzzy;
- Determinação dos coeficientes de similaridade para classificação das alternativas.

**c) Módulo de Retorno e Visualização** Os resultados são retornados ao *front-end* em formato JSON, contendo:

- O valor do coeficiente de proximidade ( $CC_{ip}$ ) de cada alternativa para cada perfil;
- A categoria final atribuída a cada alternativa.

A visualização dos dados foi projetada com foco em clareza e transparência, permitindo que o usuário compreenda facilmente a lógica da classificação.

#### 4.2.4 Deploy da Aplicação

Após o desenvolvimento e testes locais, a aplicação foi implantada em ambiente de produção com uma arquitetura distribuída. O front-end, construído com *Vite* e *React*, foi hospedado na plataforma **Vercel**, que oferece suporte eficiente a aplicações modernas de interface de usuário, permitindo rápido carregamento e fácil manutenção.

Já o back-end, implementado em *Python* com o framework *FastAPI* e executado via *Uvicorn*, foi implantado na plataforma **Railway**, que oferece um ambiente escalável e integrado para serviços em nuvem. A comunicação entre o front-end e o back-end ocorre por meio de requisições HTTP via API REST, com troca de dados no formato *JSON*.

A decisão de realizar o deploy visou proporcionar acessibilidade ao sistema para fins de testes práticos, validação externa e demonstração da solução. A aplicação hospedada preserva todas as funcionalidades, sem necessidade de autenticação ou armazenamento de dados, mantendo-se alinhada à proposta de ferramenta pontual e efêmera.

A seguir, são apresentados os links de acesso público às interfaces do sistema:

- **Interface Web (Front-End):** <https://f-topsis-class-frontend.vercel.app>
- **API (Back-End):** <https://ftopsis-class-production.up.railway.app/run-ftopsis>

### 4.3 APRESENTAÇÃO DA APLICAÇÃO

Esta seção tem como objetivo apresentar, por meio de capturas de tela, o funcionamento da aplicação desenvolvida. A seguir, são descritas as principais telas do sistema, bem como as funcionalidades associadas a cada etapa do processo de decisão.

#### 4.3.1 Tela Inicial

A Figura 4.1 apresenta a tela inicial da aplicação desenvolvida. Esta interface tem como principal objetivo introduzir o usuário ao sistema de apoio à decisão baseado no método FTOPSIS-Class, oferecendo um ponto de partida simples e intuitivo.

Ao centro da tela, logo abaixo de uma breve introdução da funcionalidade do sistema, há um botão de ação intitulado “Começar”, o qual direciona o usuário para a próxima etapa do processo decisório.

Na parte superior da interface, há uma barra de navegação sequencial com sete etapas numeradas, que refletem o fluxo completo de interação com o sistema:

1. Início
2. Variáveis para Avaliação
3. Variáveis para Peso
4. Alternativas e Critérios
5. Avaliações
6. Perfis



## 7. Resultado

Essa estrutura orienta o usuário de maneira clara e objetiva por todo o processo decisório, ao mesmo tempo em que permite retornar a etapas anteriores, se necessário, para revisão ou ajuste dos dados fornecidos.



Figura 4.1: Tela inicial da aplicação FTOPSIS-CLASS

Fonte: Aplicação criada pelo autor

### 4.3.2 Definição das Variáveis Linguísticas para Avaliação

Na Figura 4.2, é apresentada a interface onde o usuário define as **variáveis linguísticas que serão utilizadas na avaliação das alternativas** em relação aos critérios do problema. Esta etapa é essencial no processo de decisão multicritério em ambiente fuzzy, pois permite representar preferências subjetivas e qualitativas de forma estruturada.

Cada variável linguística deve ser associada obrigatoriamente a um **número fuzzy trapezoidal**, representado por uma quádrupla de valores reais  $(a_1, a_2, a_3, a_4)$ , que caracteriza a função de pertinência da variável.

O sistema permite que o usuário **adicione quantas variáveis linguísticas desejar**, utilizando o botão “*Adicionar Variável*”. Cada entrada inclui o nome do termo linguístico e os quatro valores que definem seu número fuzzy trapezoidal. Variáveis também podem ser removidas individualmente com o botão “*Remover*”, proporcionando total flexibilidade na definição da escala linguística.

Ao finalizar a definição das variáveis, o usuário pode prosseguir para a próxima etapa clicando em “*Próximo*”, iniciando assim o processo de configuração dos pesos linguísticos.

1. Início   2. Variáveis p/ Avaliação   3. Variáveis p/ Peso   4. Alternativas & Critérios   5. Avaliações   6. Perfis   7. Resultado

**Variáveis Linguísticas para Avaliações**

VL	L	M
0.0,0.0,0.1,0.2	0.1,0.2,0.3,0.4	0.3,0.4,0.5,0.6
Remover	Remover	Remover
H	VH	
0.5,0.6,0.7,0.8	0.7,0.8,0.9,1.0	
Remover	Remover	

Adicionar Variável   Próximo

Figura 4.2: Tela de definição das variáveis linguísticas para avaliação

Fonte: Aplicação criada pelo autor

#### 4.3.3 Definição das Variáveis Linguísticas para Pesos

A Figura 4.3 apresenta a interface responsável pela definição das **variáveis linguísticas utilizadas na atribuição de pesos aos critérios**. Esta etapa é fundamental para representar a importância relativa de cada critério dentro do processo de decisão fuzzy multicritério.

Assim como na etapa anterior, todas as variáveis devem ser definidas utilizando **números fuzzy trapezoidais**, expressos por uma quádrupla  $(a_1, a_2, a_3, a_4)$ .

Como na etapa anterior novamente, o usuário pode cadastrar **quantas variáveis linguísticas forem necessárias**, clicando no botão “Adicionar Variável”, além de poder remover variáveis individualmente com o botão “Remover”.

1. Início 2. Variáveis p/ Avaliação 3. Variáveis p/ Peso 4. Alternativas & Critérios 5. Avaliações 6. Perfis 7. Resultado

**Variáveis Linguísticas para Pesos**

U	MI	I
0.0,0.0,0.1,0.2	0.1,0.2,0.3,0.4	0.3,0.4,0.5,0.6
Remover	Remover	Remover
VI	EI	
0.5,0.6,0.7,0.8	0.7,0.8,0.9,1.0	
Remover	Remover	

Adicionar Variável Próximo

Figura 4.3: Tela de definição das variáveis linguísticas para pesos

Fonte: Aplicação criada pelo autor

Após definir todas as variáveis necessárias, o usuário avança para a próxima etapa clicando no botão “*Próximo*”, iniciando a configuração das alternativas e critérios do problema.

#### 4.3.4 Definição das Alternativas e Critérios

A Figura 4.4 apresenta a etapa do sistema em que o usuário insere as **alternativas a serem avaliadas** e os **critérios de decisão**, juntamente com seus respectivos pesos linguísticos e a natureza (custo ou benefício) de cada critério.

Nesta tela, o sistema oferece campos dinâmicos que permitem:

- Cadastrar **quantas alternativas forem necessárias**, cada uma identificada por um nome único (ex: A1, A2, A3, etc.);
- Definir **critérios de avaliação**, informando:
  - Nome do critério (ex: *Risk*, *Withdraw Days*, *Net Return*);
  - Peso do critério (selecionado a partir das variáveis linguísticas definidas na etapa anterior);
  - Tipo do critério: **Custo** (quanto menor, melhor) ou **Benefício** (quanto maior, melhor).

Figura 4.4: Tela de definição das alternativas e critérios

Fonte: Aplicação criada pelo autor

Cada item pode ser removido individualmente por meio do botão “*Remover*”, ou novos elementos podem ser adicionados por meio dos botões “*Adicionar Alternativa*” e “*Adicionar Critério*”.

Essa etapa prepara a estrutura da matriz de decisão fuzzy, base fundamental para os cálculos posteriores do método FTOPSIS-Class.

#### 4.3.5 Avaliações das Alternativas

A Figura 4.5 exibe a etapa de avaliação das alternativas segundo os critérios previamente cadastrados. Nesta interface, o sistema apresenta um conjunto de menus suspensos (*dropdowns*) organizados de forma matricial, permitindo ao usuário atribuir, para cada alternativa, um valor linguístico referente a cada critério.

Cada campo de avaliação permite selecionar uma das variáveis linguísticas definidas anteriormente na etapa de configuração (Seção 3.3.2), respeitando a estrutura fuzzy trapezoidal imposta pelo sistema.

Os campos são organizados por:

- **Linhas:** representam as alternativas (A1, A2, A3, ...);

- **Colunas:** representam os critérios atribuídos a cada alternativa (por exemplo: *Risk*, *Withdraw Days*, *Net Return*, etc.);
- **Células:** recebem a avaliação linguística correspondente, que será convertida internamente para um número fuzzy trapezoidal.

Esse preenchimento é essencial para formar a matriz de decisão fuzzy, que será posteriormente normalizada, ponderada e utilizada para o cálculo da distância em relação às soluções ideais (positiva e negativa), conforme o método FTOPSIS-Class.

The screenshot displays the '5. Avaliações' (Evaluations) step of a multi-criteria decision-making application. At the top, a horizontal navigation bar contains seven buttons: '1. Início', '2. Variáveis p/ Avaliação', '3. Variáveis p/ Peso', '4. Alternativas & Critérios', '5. Avaliações' (which is highlighted in blue), '6. Perfis', and '7. Resultado'. Below this, the main area is titled 'Avaliações' and contains a grid of evaluation forms for six alternatives, labeled A1 through A6. Each alternative's form lists seven criteria: 'Risk', 'Withdraw Days', 'Net Return', 'Compability Investor', 'Wealth Preservation', 'Wealth Short Term', and 'Wealth Long Term'. For each criterion, there is a dropdown menu with the placeholder text 'Selecione um valor' (Select a value). The forms for A1, A2, and A3 are fully visible, while A4, A5, and A6 are partially visible at the bottom.

Figura 4.5: Tela de avaliação das alternativas em relação aos critérios

Fonte: Aplicação criada pelo autor

Após avaliar todas as alternativas, ao final da página existe o botão "próximo", que ao ser clicado segue para a próxima etapa.

### 4.3.6 Definição dos Perfis de Classificação

A Figura 4.6 apresenta a interface destinada à criação e configuração dos **perfis de referência**, utilizados pelo método FTOPSIS-Class como classes-alvo para a atribuição das alternativas. Cada perfil corresponde a um grupo homogêneo desejado (por exemplo, *Conservative*, *Moderate* e *Bold*) e é caracterizado por um conjunto de valores linguísticos para cada critério avaliado.

A estrutura da tela é organizada da seguinte forma:

- O usuário pode definir o nome do perfil e atribuir a ele uma avaliação para cada critério, selecionando os termos linguísticos previamente definidos.
- A interface permite adicionar novos perfis com o botão *Adicionar Perfil*, ou remover perfis existentes com o botão *Remover*.

Figura 4.6: Tela de definição dos perfis de classificação

Fonte: Aplicação criada pelo autor

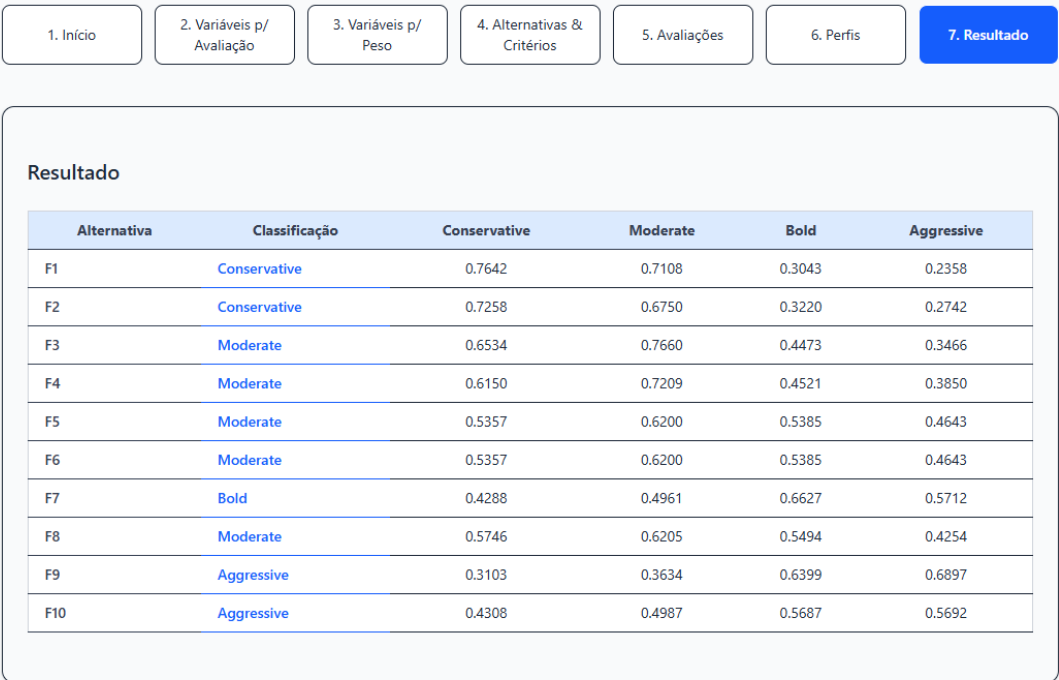
Após classificar e definir os perfis o usuário avança para a última etapa clicando no botão "próximo".

### 4.3.7 Resultado da Classificação

A última etapa do sistema é dedicada à apresentação dos **resultados da classificação**, conforme ilustrado na Figura 4.7. Após o envio dos dados ao back-end e a execução do algoritmo FTOPSIS-Class, o sistema retorna uma tabela contendo:

- As **alternativas** inseridas pelo usuário (por exemplo, A1, A2, ..., A10).
- A **classificação atribuída** a cada alternativa, correspondente ao perfil cujo coeficiente de similaridade ( $CC_i^p$ ) foi o mais elevado.
- Os **valores dos coeficientes de similaridade** ( $CC_i^p$ ) de cada alternativa em relação a todos os perfis definidos (por exemplo: *Conservative*, *Moderate*, *Bold*, *Aggressive*).

O resultado é exibido em formato tabular, destacando a classe atribuída com base na maior proximidade fuzzy da alternativa com os perfis definidos. Esse retorno possibilita ao usuário interpretar o posicionamento de cada alternativa em relação aos diferentes grupos, fornecendo uma visão transparente e fundamentada do processo de decisão.



Alternativa	Classificação	Conservative	Moderate	Bold	Aggressive
F1	Conservative	0.7642	0.7108	0.3043	0.2358
F2	Conservative	0.7258	0.6750	0.3220	0.2742
F3	Moderate	0.6534	0.7660	0.4473	0.3466
F4	Moderate	0.6150	0.7209	0.4521	0.3850
F5	Moderate	0.5357	0.6200	0.5385	0.4643
F6	Moderate	0.5357	0.6200	0.5385	0.4643
F7	Bold	0.4288	0.4961	0.6627	0.5712
F8	Moderate	0.5746	0.6205	0.5494	0.4254
F9	Aggressive	0.3103	0.3634	0.6399	0.6897
F10	Aggressive	0.4308	0.4987	0.5687	0.5692

Figura 4.7: Tela com os resultados da classificação fuzzy multicritério

Fonte: Aplicação criada pelo autor

Ao longo deste capítulo, foram descritas tanto a proposta do sistema quanto os detalhes de sua implementação e funcionamento. A seguir, o capítulo de testes apresentará

experimentações realizadas com dados provenientes de duas fontes: o artigo principal de referência e uma tese de doutorado.



## Capítulo 5

# TESTES E RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos por meio da aplicação do sistema desenvolvido com base no método FTOPSIS-Class.

Para avaliar o desempenho da implementação, foram realizados testes com dois conjuntos distintos de dados: o exemplo proposto no artigo original de Ferreira et al. [1] e um conjunto de dados propostos de uma tese de doutorado de Souza.[14]

Todos os conjuntos foram processados por meio da interface da aplicação desenvolvida, respeitando os formatos esperados pelo sistema, incluindo as avaliações por variáveis linguísticas e os perfis de classificação.

Os resultados obtidos são analisados com base em sua consistência em relação aos dados de entrada e sua aderência às classificações esperadas, sempre considerando as especificidades de cada conjunto testado.

A seguir, são apresentadas as configurações utilizadas nos testes, bem como os principais resultados observados.

### 5.1 CONJUNTOS DE DADOS UTILIZADOS

Para avaliar a eficácia e a aderência do sistema implementado ao algoritmo FTOPSIS-Class, foram utilizados dois conjuntos de dados distintos, oriundos de trabalhos acadêmicos que aplicaram ou adaptaram o método em diferentes domínios. A seleção desses conjuntos teve como propósito não apenas validar a correta execução do algoritmo, mas também demonstrar a aplicabilidade do sistema em diversos contextos práticos. Todos os dados seguiram os padrões de utilizar variáveis linguísticas para classificar os critérios, além de usar apenas números fuzzy trapezoidais.

#### Artigo Original – Ferreira et al. (2018)

O primeiro conjunto de dados foi extraído do artigo que introduziu o método FTOPSIS-Class, intitulado *A fuzzy hybrid integrated framework for portfolio optimization in private banking* [1]. Nesse estudo, o método foi aplicado à classificação de investidores em perfis

de risco no contexto de investimentos privados.

## Tese de Doutorado – Apoio à Decisão no Programa WCM

O segundo conjunto de dados foi extraído da tese de doutorado intitulada *Framework para Apoio à Decisão Multicritério nos Pilares de Custo e Segurança do Programa World-Class Manufacturing*. O objetivo da pesquisa foi propor e aplicar um modelo multicritério fuzzy de apoio à decisão nos pilares de Custo e Segurança do programa *World-Class Manufacturing* (WCM), voltado à gestão industrial. O primeiro conjunto de critérios utilizados foi relacionado a objetivos estratégicos de desempenho como custo, credibilidade, qualidade, rapidez e flexibilidade.

### 5.2 RESULTADOS

O primeiro teste teve como base os dados do artigo original que propôs o FTOPSIS-Class. No sistema desenvolvido, as variáveis linguísticas foram configuradas conforme o artigo e aplicadas às alternativas. Os perfis também foram definidos com base nos valores de referência fornecidos na publicação.

Dos dez investidores avaliados, o sistema conseguiu reproduzir nove, com base no maior coeficiente de proximidade ( $CC_i^p$ ) em relação aos perfis predefinidos. As classificações obtidas apresentaram similaridade com os resultados esperados, com valores de  $CC_i^p$  próximos àqueles relatados no artigo original, demonstrando que a implementação é consistente com a proposta metodológica de Ferreira et al. [1].

Resultado					
Alternativa	Classificação	Conservative	Moderate	Bold	Aggressive
A1	Conservative	0.7642	0.7108	0.3043	0.2358
A2	Conservative	0.7258	0.6750	0.3220	0.2742
A3	Moderate	0.6534	0.7660	0.4473	0.3466
A4	Moderate	0.6150	0.7209	0.4521	0.3850
A5	Moderate	0.5357	0.6200	0.5385	0.4643
A6	Moderate	0.5357	0.6200	0.5385	0.4643
A7	Bold	0.4288	0.4961	0.6627	0.5712
A8	Moderate	0.5746	0.6205	0.5494	0.4254
A9	Aggressive	0.3103	0.3634	0.6399	0.6897
A10	Aggressive	0.4308	0.4987	0.5687	0.5692

Figura 5.1: Resultado da aplicação utilizando o artigo de Ferreira et al.

Fonte: Aplicação criada pelo autor

Fund	Closeness coefficient – $CC_i^p$			
	Conservative	Moderate	Bold	Aggressive
$F_1$	<b>0.79866</b>	0.70388	0.27493	0.20134
$F_2$	<b>0.75166</b>	0.66237	0.30022	0.24833
$F_3$	0.68649	<b>0.78957</b>	0.44210	0.31350
$F_4$	0.63540	<b>0.73081</b>	0.44897	0.36460
$F_5$	0.50332	<b>0.63794</b>	0.59904	0.49668
$F_6$	0.50332	<b>0.63794</b>	0.59904	0.49668
$F_7$	0.37450	0.45127	<b>0.72643</b>	0.62549
$F_8$	0.51017	0.53095	<b>0.66981</b>	0.48982
$F_9$	0.13143	0.15093	0.71979	<b>0.86856</b>
$F_{10}$	0.34331	0.40799	0.61318	<b>0.65668</b>

Figura 5.2: Resultado apresentado no artigo de Ferreira et al.

Fonte: Artigo de Ferreira(2018)

O segundo conjunto de dados utilizados nos testes foi extraído da tese de doutorado intitulada Framework para Apoio à Decisão Multicritério nos Pilares de Custo e Segurança do Programa World Class Manufacturing, que propõe uma abordagem para classificar unidades fabris com base no desempenho dos pilares estratégicos. Como nos outros testes, todas as variáveis linguísticas, perfis e critérios foram configurados de acordo com a tese.

Ao processar este conjunto de dados por meio do sistema proposto, o algoritmo FTOPSIS-Class foi capaz de reproduzir 16 das 24 alternativas, mantendo um padrão de proximidade consistente entre os coeficientes calculados e os valores esperados pela tese. O teste com este conjunto também evidenciou a capacidade do sistema de manipular conjuntos maiores de dados, com múltiplas alternativas e critérios, reforçando sua aplicabilidade em contextos complexos.

Resultado					
Alternativa	Classificação	P1	P2	P3	P4
A1	P3	0.4360	0.4650	0.5640	0.5640
A2	P4	0.4193	0.4419	0.5807	0.6321
A3	P3	0.4530	0.4818	0.5470	0.5470
A4	P2	0.6103	0.6493	0.3897	0.3897
A5	P2	0.5628	0.5987	0.4372	0.4372
A6	P2	0.5006	0.5339	0.4994	0.4994
A7	P2	0.5150	0.5480	0.4850	0.4850
A8	P1	0.7958	0.7464	0.2042	0.2042
A9	P1	0.7285	0.6834	0.2715	0.2715
A10	P3	0.4685	0.4973	0.5315	0.5315
A11	P2	0.5133	0.5420	0.4867	0.5315
A12	P1	0.9031	0.7610	0.0969	0.0969
A13	P1	0.5280	0.4976	0.4720	0.4720
A14	P2	0.5628	0.5987	0.4372	0.4372
A15	P2	0.7316	0.7804	0.2684	0.2684
A16	P1	0.8427	0.7903	0.1573	0.1573
A17	P1	0.6198	0.5841	0.3802	0.3802
A18	P3	0.4685	0.4973	0.5315	0.5315
A19	P2	0.6061	0.6433	0.3939	0.3939
A20	P4	0.4193	0.4419	0.5807	0.6321
A21	P2	0.5787	0.6155	0.4213	0.4213
A22	P1	0.6824	0.5786	0.3176	0.3176
A23	P3	0.4315	0.4548	0.5685	0.5685
A24	P2	0.5145	0.5460	0.4855	0.4855

Figura 5.3: Resultado da aplicação utilizando a tese de Souza

Fonte: Aplicação criada pelo autor

	P1	P2	P3	P4
A1	0,62989321	<b>0,66645744</b>	0,39446349	0,39446349
A2	0,36688917	0,44633812	0,67299170	<b>0,67530984</b>
A3	0,62924117	<b>0,66550960</b>	0,39554306	0,39537944
A4	0,76445820	<b>0,78064405</b>	0,25133901	0,25133485
A5	0,72339102	<b>0,73870278</b>	0,29514979	0,29514979
A6	0,63799970	<b>0,74468383</b>	0,38636687	0,38619956
A7	0,68231357	<b>0,69674248</b>	0,33896003	0,33881957
A8	0,84655531	<b>0,85071651</b>	0,16332959	0,16336022
A9	0,82776489	<b>0,83200683</b>	0,18386776	0,18386776
A10	0,47609790	0,55674081	<b>0,55902544</b>	0,55902544
A11	0,58133400	<b>0,65340587</b>	0,44539230	0,44713526
A12	<b>0,95460210</b>	0,81666974	0,04823986	0,04823986
A13	0,63501880	<b>0,63829892</b>	0,38966972	0,38966972
A14	0,68077595	<b>0,76536549</b>	0,34097749	0,34097749
A15	0,83393643	<b>0,85071651</b>	0,17662439	0,17659181
A16	0,77124016	<b>0,80174006</b>	0,24319139	0,24319139
A17	0,61224981	<b>0,63809786</b>	0,41397865	0,41397865
A18	0,58098009	<b>0,65308592</b>	0,44735398	0,44735398
A19	0,74829374	<b>0,76415029</b>	0,26859755	0,26860200
A20	0,41707885	0,50734790	0,61988967	<b>0,62203943</b>
A21	0,68673606	<b>0,80156094</b>	0,33416412	0,33409944
A22	<b>0,79607121</b>	0,68391533	0,21632006	0,21632006
A23	0,42960787	0,50172325	<b>0,60655770</b>	0,60655770
A24	0,62259974	<b>0,69995107</b>	0,40294513	0,40311510

Figura 5.4: Resultado apresentado na Tese de Doutorado de Souza.

Fonte: Tese de Doutorado de Souza(2020)

### 5.2.1 4.3 Discussão dos Resultados

A execução do sistema proposto sobre dois conjuntos distintos de dados permitiu uma análise abrangente quanto à precisão da implementação, aderência ao método FTOPSIS-Class e robustez da aplicação desenvolvida. Os testes foram conduzidos a partir de dois estudos previamente publicados: o artigo original de Ferreira et al. (2018) e uma tese de doutorado aplicada ao contexto do programa World-Class Manufacturing (WCM) de Souza (2020).

No primeiro conjunto, extraído do artigo que originalmente propôs o FTOPSIS-Class, o sistema apresentou desempenho satisfatório, conseguindo reproduzir a maioria das alternativas classificadas. Além disso, observou-se que os **valores dos coeficientes de similaridade gerados foram bastante próximos aos apresentados no estudo original**, evidenciando a fidelidade da implementação e a correta reprodução da lógica do algoritmo. A pequena divergência encontrada pode ser atribuída a nuances na forma de agregação dos dados. Além disso, destaca-se que **diferenças numéricas sutis podem ser explicadas por efeitos de arredondamento e variações internas no tratamento decimal entre sistemas computacionais**.

Já no segundo conjunto, retirado da tese de doutorado sobre apoio à decisão nos pilares de custo e segurança do WCM, o sistema reproduziu, novamente, a maioria das alternativas classificadas. Embora a taxa de reprodução seja moderada, os **coeficientes calculados mostraram-se bastante próximos dos esperados**, o que indica que a lógica geral do método foi corretamente capturada e reproduzida pela aplicação. Assim como no caso anterior, a diferença entre classificações pode ser parcialmente explicada por **empates técnicos entre perfis próximos**, efeitos de **arredondamento** ou mesmo por pequenas variações na interpretação das avaliações linguísticas originais.

De modo geral, os resultados observados ao longo dos testes foram consistentes. As divergências encontradas ocorreram, na maioria dos casos, em alternativas cujos coeficientes estavam muito próximos entre dois ou mais perfis.

Por fim, o sistema demonstrou **eficiência, estabilidade e generalidade** ao processar todos os conjuntos de dados com fluidez, sem necessidade de ajustes manuais ou redefinição estrutural. Tal desempenho confirma o potencial da aplicação como uma ferramenta prática e confiável para suporte à decisão em cenários multicritério.

## Capítulo 6

# CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de uma aplicação web interativa baseada no método FTOPSIS-Class, voltada para a realização de classificações multicritério com apoio da lógica fuzzy. A proposta nasceu da necessidade de oferecer uma ferramenta acessível, prática e confiável, capaz de executar algoritmos complexos de apoio à decisão sem demandar conhecimentos técnicos aprofundados por parte do usuário.

No decorrer da pesquisa, foi possível apresentar os fundamentos teóricos necessários à compreensão do método FTOPSIS-Class, incluindo aspectos sobre Tomada de Decisão Multicritério (MCDM), conjuntos fuzzy, sistemas de apoio à decisão, além de outros métodos que serviram como base, como o TOPSIS e o Fuzzy TOPSIS. Esses elementos forneceram a base para a implementação algorítmica e a modelagem computacional da aplicação.

A implementação da aplicação foi realizada com arquitetura cliente-servidor, utilizando tecnologias como *FastAPI*, *NumPy*, e *React*, permitindo uma separação clara entre a interface de usuário e o processamento lógico. A aplicação foi projetada para não depender de banco de dados e para operar de forma pontual, reforçando sua natureza como ferramenta leve, segura e orientada à praticidade.

Os testes conduzidos com dois conjuntos distintos de dados – extraídos de um artigo científico e uma tese de doutorado – evidenciaram a implementação consistente do algoritmo e a robustez da aplicação. Mesmo diante de pequenos desvios de classificação, atribuíveis a fatores como empates técnicos entre perfis próximos ou efeitos de arredondamento.

Em termos de contribuição prática, o sistema mostrou que pode ser útil para pesquisadores e profissionais que buscam classificar alternativas em contextos com múltiplos critérios e julgamentos subjetivos. A possibilidade de definir livremente critérios, variáveis linguísticas e perfis classificatórios torna a ferramenta flexível e aplicável a diversas áreas do conhecimento.

## LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Apesar dos resultados positivos, o presente trabalho possui algumas limitações. A aplicação, por ser voltada para uso pontual e não contar com persistência de dados, não oferece funcionalidades como histórico de avaliações ou exportação automatizada de relatórios. Além disso, a ausência de validação automática da consistência dos dados de entrada exige maior atenção por parte do usuário no preenchimento das informações.

Outra limitação está relacionada ao suporte exclusivo a números fuzzy trapezoidais. Embora esses sejam amplamente utilizados, outras representações fuzzy, como números triangulares ou intervalares, poderiam ampliar a aplicabilidade do sistema.

Como trabalhos futuros, destacam-se as seguintes possibilidades:

- Implementar autenticação e armazenamento de sessões, possibilitando salvar projetos e resultados.
- Adicionar suporte a outras representações fuzzy (triangulares).
- Permitir exportação dos resultados em formatos como PDF e CSV.
- Incorporar um módulo gráfico para visualização interativa dos coeficientes de proximidade e perfis.
- Ampliar os testes da aplicação com novos conjuntos de dados, incluindo aplicações em domínios reais com tomadores de decisão humanos.
- Utilizar ferramentas estatísticas, como análise de concordância ou testes de correlação, para validar quantitativamente os resultados obtidos e reforçar a confiabilidade do sistema em diferentes cenários.

Essas melhorias visam não apenas enriquecer a experiência do usuário, mas também consolidar a ferramenta como um recurso robusto de apoio à decisão multicritério em ambientes com incerteza.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ferreira, L., Borenstein, D., Righi, M. B., & Almeida-Filho, A. T. (2018). **A fuzzy hybrid integrated framework for portfolio optimization in private banking**. *Expert Systems with Applications*, 92, 350–362. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.09.055>
- [2] Feitosa, I., Carpinetti, L., & Almeida-Filho, A. (2019). **Aplicação de FTOPSIS-Class para classificação da maturidade da gestão de risco em cadeias de suprimentos**. *Anais do XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. <https://doi.org/10.59254/sbpo-2019-106626>
- [3] Chen, S.J., & Hwang, C.L. (1992). **Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods**. In: *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 375. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4_5)
- [4] Triantaphyllou, E. (2000). **Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study**. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6>
- [5] Hwang, C.-L., Lai, Y.-J., & Liu, T.-Y. (1993). **A new approach for multiple objective decision making**. *Computers & Operations Research*, 20(8), 889–899. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(93\)90109-V](https://doi.org/10.1016/0305-0548(93)90109-V)
- [6] Thakkar, J. (2021). *Multi-Criteria Decision Making*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-33-4745-8>
- [7] Brugh, C. M. (2004). **Structure of multi-criteria decision-making**. *Journal of the Operational Research Society*, 55(11), 1156–1168. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601777>
- [8] Chen, C.-T. (2000). **Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment**. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)
- [9] Nădăban, S., Dzitac, S., & Dzitac, I. (2016). **Fuzzy TOPSIS: A general view**. *Procedia Computer Science*, 91, 823–831. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.088>

- [10] Klir, G. J., & Yuan, B. (1994). **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Prentice-Hall.
- [11] Zimmermann, H.-J. (2010). **Fuzzy set theory**. WIREs Computational Statistics, 2(3), 317–332. <https://doi.org/10.1002/wics.82>
- [12] Zadeh, L. A. (1965). **Fuzzy sets**. Information and Control, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- [13] Sprague, R. H., & Carlson, E. D. (1980). **Decision Support Systems: Issues and Challenges**. Pergamon Press. ISBN: 9780080273211.
- [14] SOUZA, Naiara Meireles de. **Framework para apoio à decisão multicritério nos pilares de custo e segurança do programa World-Class Manufacturing**. 2020. 131 f., il., gráfs., tabs. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

## APÊNDICE A – LINKS DE ACESSO AO SISTEMA

- **Interface Web (Front-End):** <https://f-topsis-class-frontend.vercel.app>
- **Link de requisição da API:** <https://ftopsis-class-production.up.railway.app/run-ftopsis>
- **Repositório GitHub (front-end):** [https://github.com/PedroManoel01/F\\_TOPSIS\\_CLASS\\_FRONTEND](https://github.com/PedroManoel01/F_TOPSIS_CLASS_FRONTEND)
- **Repositório GitHub (back-end):** <https://github.com/PedroManoel01/FTOPSIS-CLASS>