



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

VINICIUS HENRIQUE DE MENDONÇA

**SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA REDUÇÃO DE RISCO DE  
ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS DE PERNAMBUCO**

Caruaru

2022

VINICIUS HENRIQUE DE MENDONÇA

**SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA REDUÇÃO DE RISCO DE  
ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade Federal de Pernambuco, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

**Área de concentração:** Pesquisa Operacional

**Orientador:** Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez

Caruaru

2022

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

Mendonça, Vinicius Henrique de.

Sistema de apoio a decisão para redução de risco de acidentes de  
trânsito nas rodovias federais de

Pernambuco / Vinicius Henrique de Mendonça. - Caruaru, 2022.

49 : il., tab.

Orientador(a): Thalles Vitelli Garcez

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Engenharia  
de Produção, 2022.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Pesquisa Operacional. I. Garcez, Thalles Vitelli. (Orientação). II.  
Título.

620 CDD (22.ed.)

VINICIUS HENRIQUE DE MENDONÇA

**SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA REDUÇÃO DE RISCO DE  
ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade Federal de Pernambuco, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional

Aprovada em: 25/10/2022

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Lucimário Gois de Oliveira Silva

Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente

Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos, por todo o carinho e apoio. Dedico em especial a minha mãe por seu apoio incondicional a meus estudos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família por todo o suporte. Em especial a minha mãe, Adjaneide, e ao meu irmão Júnior, que sempre estiveram presentes, me dando todo o apoio necessário.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Thalles Garcez, por todas as orientações e o suporte ao longo dos trabalhos realizados sob sua supervisão.

Aos meus amigos e colegas de Universidade do CAA em geral, por todos os bons momentos vividos.

E por fim, agradeço a Deus pelo dom da vida e por me manter capaz de buscar meus objetivos.

## RESUMO

Este trabalho propõe um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para identificar os trechos mais críticos das rodovias no intuito de orientar melhor a distribuição de recursos disponíveis, que normalmente são limitados e escassos, de redução do risco de acidentes de trânsito. Para isso, evidenciando que a criticidade dos acidentes de trânsito em rodovias envolve múltiplas dimensões de avaliação, tais como severidade do acidente, condições meteorológicas, características da via, etc.; este trabalho utiliza a abordagem multicritério para considerar os diferentes critérios de influência no risco de acidentes. Além disso, dada a dinamicidade desses critérios ao longo do tempo, foi utilizada uma abordagem multiperíodo de modo a considerar a evolução dos critérios no tempo. Desta forma, a avaliação conjunta de abordagens multicritério e multiperíodo se dá através do método MUPOM (*MU*lti-*cri*teria *mu*lti-*P*eriod *O*utranking *M*ethod). Portanto, este estudo apresenta a metodologia e funcionalidades para o desenvolvimento de um sistema computacional, um software destinado a auxiliar os usuários e agentes de segurança pública na redução de risco de acidentes de trânsito nas rodovias, como forma de implementar medidas preventivas aos acidentes de trânsito, de forma rápida, estratégica e eficiente.

**Palavras-chave:** sistema de apoio à decisão; acidentes de trânsito; decisão multicritério; avaliação multiperíodo; MUPOM; rodovias federais.

## ABSTRACT

This work proposes a Decision Support System (DSS) to identify the most critical stretches of highways, in order to better guide the distribution of available resources, generally limited and scarce, to reduce the risk of traffic accidents. For this, to show that the criticality of traffic accidents on highways involves multiple evaluation dimensions, such as accident severity, weather conditions, road characteristics, etc.; this work uses the multicriteria approach to consider the different criteria that influence the risk of accidents. Furthermore, given the dynamics of these criteria over time, a multiperiod approach was used to consider the evolution of the criteria over time. Thus, the joint evaluation of the multi-criteria and multi-period approaches is performed by the MUPOM method (Multi-criteria multi-period outranking method). Therefore, this study presents the methodology and functionalities for the development of a computerized system, a software developed to assist users and public safety agents in reducing the risk of traffic accidents on highways, as a way of implementing preventive measures against traffic accidents. quickly, strategically and efficiently.

**Keywords:** decision support system; traffic-accidents; multicriteria decision; multiperiod evaluation; MUPOM; federal highways.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Etapas do estudo .....	15
Figura 2 –	Fatores contribuintes para acidentes em rodovias relacionado aos fatores humanos e de qualidade da rodovia .....	23
Figura 3 –	Estrutura do problema .....	29
Figura 4 –	Método de autenticação e login de usuários no SAD .....	31
Figura 5 –	Framework do Cloud Firestore desenvolvido no SAD .....	32
Figura 6 –	Método de hospedagem online do SAD .....	33
Figura 7 –	Modelagem do SAD .....	34
Figura 8 –	Tela: login do usuário .....	35
Figura 9 –	Tela: entrada de dados no SAD .....	36
Figura 10 –	Instruções de importação dos dados no SAD .....	36
Figura 11 –	Plotagem gráfica dos pesos dos critérios através do ROC .....	37
Figura 12 –	Resultados detalhados do SAD .....	38
Figura 13 –	Parâmetros do modelo salvos no banco de dados .....	40
Figura 14 –	Relações de Preferência no período P1, P2, P3, P4 e P5 .....	42
Figura 15 –	Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking (MUPOM) .....	42
Figura 16 –	Resultado do procedimento para obtenção das ordens decrescente e crescente .....	43
Figura 17 –	Procedimento de ponderação médio e ordenamento final das alternativas .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores numéricos das distâncias entre as relações binárias de Preferência .....	20
Tabela 2 –	Métodos de definição dos pesos dos períodos .....	25
Tabela 3 –	Lista de alternativas (trechos) .....	39
Tabela 4 –	Parâmetros do modelo decisório .....	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS .....	12
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	13
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>14</b>
2.1	PERFIL DO USUÁRIO .....	15
2.2	VALIDAÇÃO DO SAD .....	16
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
3.1	DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	17
3.2	MUPOM .....	18
<b>4</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS .....</b>	<b>22</b>
4.1	FATORES CONTRIBUINTES PARA ACIDENTES DE TRÂNSITO .....	22
4.2	DECISÃO MULTICRITÉRIO E MULTIPERÍODO .....	23
4.3	SAD EM ACIDENTES DE TRÂNSITO .....	25
<b>5</b>	<b>SISTEMA DE APOIO À DECISÃO (SAD) .....</b>	<b>27</b>
5.1	MODELAGEM DO PROBLEMA .....	27
5.2	MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DO SAD .....	29
<b>5.2.1</b>	<b>Sistema de login e autenticação de usuário .....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Banco de dados Firebase .....</b>	<b>31</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Sistema de hospedagem .....</b>	<b>32</b>
5.3	INTERFACES DE ENTRADA DOS DADOS .....	35
5.4	INTERFACES DO MODELO DECISÓRIO .....	37
5.5	INTERFACES DOS RESULTADOS DETALHADOS .....	38
<b>6</b>	<b>VALIDAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
6.1	ENTRADA DE DADOS .....	39
6.2	PARÂMETROS DO MODELO DECISÓRIO .....	40
6.3	RESULTADOS DO MODELO DECISÓRIO .....	41
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, dezenas de milhares de pessoas morrem em rodovias e dezenas de milhões ficam feridas ou invalidadas todos os anos. No ano de 2015, por exemplo, foram registradas 38651 fatalidades no trânsito, fato que colocou o país na 3ª posição dos países com mais mortes no trânsito em termos de valor absoluto, atrás apenas da Índia e China. Quando levado em consideração a razão do número de mortes pelo número total de habitantes, o Brasil fica na 14ª posição, tendo em média 19,7 mortes por 100.000 habitantes (WHO, 2018).

A grande quantidade de ocorrências faz com que acidentes de trânsito seja a principal causa de morte, lesões e hospitalização, resultando em elevados custos econômicos e sociais. Em 2014, os cerca de 170 mil acidentes de trânsito geraram um custo de R\$ 12,3 bilhões para o Brasil, sendo que, dos custos gerados por essas ocorrências, 64,7% estavam associados às vítimas dos acidentes, como cuidados com a saúde e perda de produção devido às lesões ou morte e 34,7% estavam relacionados aos veículos, como danos materiais, perda de cargas e procedimentos de remoção dos veículos acidentados (IPEA, 2015).

Realizar melhorias em estradas e malhas rodoviárias, para reduzir e/ou diminuir a severidade de acidentes, reduzindo a quantidade e danos acometidos às vítimas, são de fato grandes desafios de gestão e engenharia de transportes. A posição mais crítica desse estudo é formular formas adequadas de melhorar o nível de segurança das rodovias, permitindo a priorização de trechos rodoviários críticos. Também é importante destacar que os recursos disponíveis são limitados, sendo impossível investir em todos os trechos rodoviários ao mesmo tempo, portanto é necessário focar nos trechos mais críticos para que as ações realizadas tenham um maior impacto (FANCELLO; CARTA; FADDA, 2019).

Além disso, é notável o grande número de dados acerca das acidentalidades nas rodovias federais brasileiras, onde faz-se necessário um sistema de informação (SI) capaz de captar tais dados, analisar e armazená-los organizadamente, para que seja possível ser realizada seu processamento em informações úteis e assim, facilitar a tomada de decisão que venham a reduzir os riscos de acidentes nas rodovias e realização de ações preventivas de redução dos acidentes.

Entre os vários tipos de sistemas de informação utilizados pelas organizações, encontram-se os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) que são sistemas utilizados no processo decisório que proporcionam ao decisor acesso facilitado a sistemas de interfaces intuitivas, apoiando à tomada de decisão proposta ao sistema (SPRAGUE; WATSON, 1991).

Adicionado a isso, são vários os fatores que interferem na segurança no trânsito, implicando em uma característica multicritério ao problema (BAO et al., 2012). Como também, devido a dinamicidade desses fatores ao longo do período de análise (anual, trimestral, etc.) o problema apresenta-se também como uma problemática multiperíodo (MARTINS, 2020). Dessa forma, este estudo se justifica através do desenvolvimento de um SAD, um *software* integrado à internet, que auxilie na identificação dos trechos mais críticos a partir das abordagens multicritério e multiperíodo, permitindo com que decisões possam ser tomadas de forma mais efetiva.

Também, ressalta-se que, o método multicritério e multiperíodo implementado neste estudo, proposto por Martins e Garcez (2021), trata-se de uma adaptação do método MUPOM (FRINI; BEN AMOR, 2019), em que considera diversos cenários e alternativas ao longo dos períodos de tempo de análise atendendo às relações de preferências e ordens parciais da problemática de decisão do decisor.

## 1.1 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo geral desenvolver um SAD que auxilie na priorização de trechos críticos das rodovias a partir de uma abordagem multicritério e multiperíodo, de tal forma que possa auxiliar no processo de tomada de decisão para a minimização dos riscos de acidentes de trânsito.

Para atingir este objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram almejados:

- Oferecer uma análise conceitual e referencial acerca dos critérios de influência acerca da acidentalidade de trânsito nas rodovias;
- Estruturar os conceitos e formulações presentes no método multicritério e multiperíodo MUPOM, sendo o modelo implementado no SAD;
- Descrever as diversas funcionalidades e etapas de implementação do SAD, objetivando tornar o *software* acessível e intuitivo;
- Aplicar e validar o SAD proposto a partir da utilização dos dados dos acidentes rodoviários de Pernambuco;

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O estudo está organizado de acordo com as seguintes seções: a seção dois apresenta a metodologia utilizada no estudo; a seção três apresenta a fundamentação teórica; a seção quatro apresenta alguns trabalhos relevantes relacionados ao tema; a seção cinco descreve o desenvolvimento do *software* e suas principais funcionalidades; a seção seis apresenta os principais resultados desenvolvimento neste estudo; e por fim, a seção sete apresenta as conclusões do trabalho e possíveis estudos futuros a serem buscados.

## 2 METODOLOGIA

Este trabalho é caracterizado, primeiramente, por ter uma metodologia descritiva. Descritiva pois descreve os dados utilizados sobre acidentes de trânsito no estado de Pernambuco e apresenta detalhadamente o desenvolvimento e resultados da pesquisa aplicada na implementação do SAD. Em seguida, é realizada a modelagem do problema de pesquisa, dado pelo ordenamento em criticidade multidimensional e multiperíodo de acidentes de trânsito dos trechos de rodovias federais.

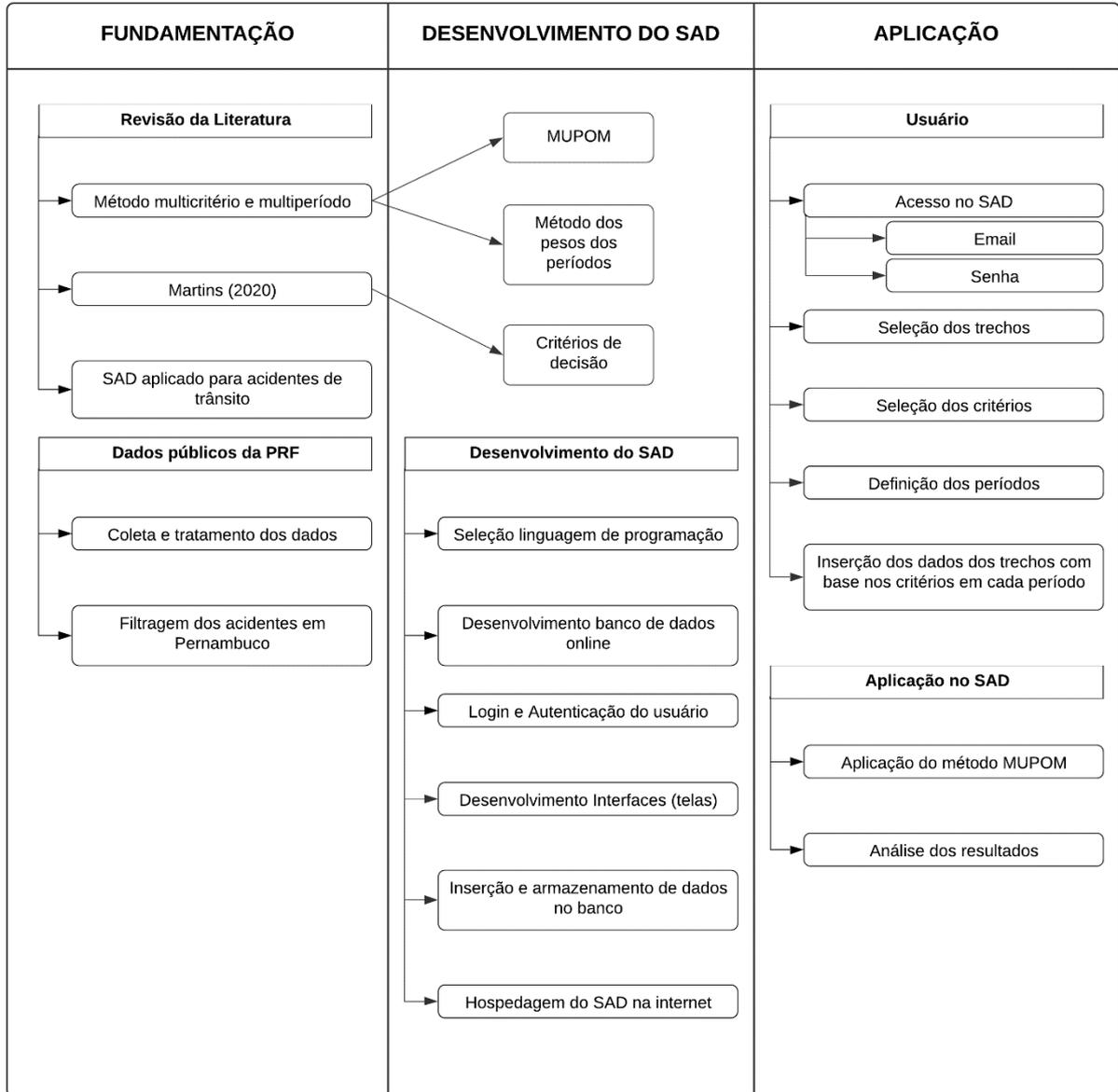
Os dados utilizados na pesquisa trata-se de dados públicos disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) na internet, coletando e filtrando os dados a serem utilizados neste estudo. Posteriormente, foi realizado um estudo na literatura como forma de embasamento teórico, acerca de temas sobre os critérios de influência dos acidentes rodoviários, métodos de decisão multicritério e multiperíodo e proposições de SAD para a redução da acidentalidade.

De forma resumida, foram realizadas as seguintes etapas para a metodologia deste estudo: fundamentação teórica, coleta e tratamento de dados, desenvolvimento e aplicação do SAD.

As etapas da metodologia do estudo podem ser verificadas na Figura 1. A partir da fundamentação teórica sobre decisão multicritério e multiperíodo foi selecionado o método *Multicriteria Multi-Period Outranking Method* (MUPOM), como também os métodos matemáticos de estabelecimento dos pesos dos períodos, presentes no SAD. Em relação aos critérios utilizados no SAD, foram implementados oito critérios estabelecidos no trabalho de Martins (2020), com os quais foram extraídos segundo um estudo descritivo dos dados da PRF.

Com a coleta e tratamento dos dados que serviram como *input* para a aplicação do SAD, foram buscadas ferramentas e linguagem de programação mais adequadas para o desenvolvimento das *interfaces* do sistema, técnicas de acesso e autenticação para segurança dos dados dos usuários, implementação de um banco de dados responsável pelo armazenamento em nuvem dos dados armazenados e gerados pelo usuário no sistema, e determinar o local de hospedagem do SAD para aplicação via *internet*, com o objetivo de tornar o *software* acessível e de fácil usabilidade. A aplicação do SAD é realizada utilizando os dados coletados e analisando os resultados obtidos pelo sistema.

Figura 1 - Etapas do estudo



Fonte: Adaptado de Martins e Garcez (2021)

### 2.1 PERFIL DO USUÁRIO

Essa seção busca determinar o perfil dos usuários do SAD desenvolvido, que correspondem aos decisores do problema de decisão de priorização dos trechos rodoviários.

Assim, segundo os objetivos buscados no estudo, supõe-se que o SAD seja um sistema de nível gerencial, em que gestores e/ou responsáveis de organizações público/privado, pactuadas na segurança rodoviária, de investimentos eficientes da infraestrutura da malha rodoviária, como também na redução dos riscos de acidentes, possam através da utilização orientada do SAD, desempenhar e cumprir seus papéis como organização.

Portanto, organizações como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Polícia Rodoviária Federal (PRF), são exemplos de organizações que compreendem os decisores, ou seja, o perfil dos usuários alvo para a utilização das funcionalidades do SAD desenvolvido.

## 2.2 VALIDAÇÃO DO SAD

Evidenciando o perfil de usuários padrão do sistema, a avaliação do SAD será realizada segundo a validação utilizando dados realísticos de acidentes em rodovias federais de Pernambuco aplicados ao SAD.

A validação supõe a execução de todas as etapas do modelo de decisão multicritério e multiperíodo MUPOM, evidenciando todas as entradas e saídas das funcionalidades desenvolvidas no SAD, com o objetivo de direcionar e orientar os decisores, apresentando um exemplo guiado do começo ao fim do sistema.

Por fim, ressalta-se que o SAD não descarta a presença do decisor, visto, principalmente, a grande quantidade de informações a serem inseridas e a importância da definição dos parâmetros do modelo MUPOM para o resultado, onde o resultado do SAD é a priorização dos trechos rodoviários em ordem de criticidade.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta os principais conceitos abordados neste estudo, explicando brevemente a fundamentação teórica que aborda os assuntos de: decisão multicritério e MUPOM.

#### 3.1 DECISÃO MULTICRITÉRIO

Os métodos de tomada de decisão multicritério (do inglês, *Multiple Criteria Decision Making* – MCDM) avalia um conjunto específico de alternativas com base em diferentes critérios e considera as preferências dos tomadores de decisão para auxiliar no processo de tomada de decisão (DE ALMEIDA, 2013).

Os problemas de tomada de decisão multicritério incluem problemas em que os tomadores de decisão precisam avaliar múltiplos objetivos de forma abrangente e esses objetivos podem ser representados por variáveis que podem usar diferentes unidades de medida (DE ALMEIDA et al., 2015)..

Para ter um problema de decisão, deve haver um conjunto de alternativas (pelo menos duas) para que os tomadores de decisão possam comparar e ter sua própria posição sobre elas. O conjunto de alternativas pode ser contínuo ou discreto (DE ALMEIDA, 2013). Para este estudo será considerado um conjunto de alternativas discretas, onde cada alternativa representa um curso de ação disponível para implementação do decisor, que no caso específico são os trechos de rodovias a serem analisados.

As alternativas são avaliadas de acordo com suas consequências considerando cada critério escolhido; ou seja, busca-se a alternativa com consequências mais desejáveis para o decisor (ROY, 1996). Neste estudo, busca-se aquelas alternativas mais críticas sob a visão da acidentalidade de trânsito.

Além disso, destaca-se que os problemas de MCDM normalmente são resolvidos com base em três principais tipos de métodos, são eles: métodos de critério único de síntese, métodos de sobreclassificação (*outranking*) e métodos interativos (DE ALMEIDA, 2013). O presente estudo faz uso da abordagem de sobreclassificação, utilizando assim uma racionalidade não-compensatória, ou seja, o decisor não compensa o desempenho ruim de uma alternativa em um critério específico, por um bom desempenho na mesma alternativa em outro critério. Como

também, trata-se de uma problemática de ordenação, já a finalidade do estudo é ordenar os trechos de acordo com a criticidade dos mesmos comparados aos outros.

### 3.2 MUPOM

O método Multicriteria Multi-Period Outranking Method – MUPOM, proposto por Frini e Ben Amor (2019), é um método de sobreclassificação que utiliza um conjunto de índices de concordância e discordância, para realizar uma avaliação multiperíodos das alternativas em análise. Ou seja, o método leva em consideração vários cenários em diversos períodos de análise, com a finalidade de atender as preferências do decisor na análise multicritério.

Segundo Frini e Ben Amor (2019), o método MUPOM está estruturado em quatro fases: i) agregação multicritério; ii) agregação multiperíodo; iii) exploração e iv) monitoramento. A agregação multicritério, considerada a primeira etapa do modelo, refere-se à agregação dos critérios de decisão, em cada período de tempo, com base em comparações par-a-par e princípios de concordância e discordância. No entanto, um procedimento diferente para a fase de exploração será implementado, pois o MUPOM trata de um problema de escolha e o que se deseja é a ordenação de criticidade de trechos rodoviários, ou seja, uma problemática de ordenação.

A adaptação do método MUPOM para a fase de exploração foi proposto por Martins e Garcez (2021), baseou-se na distinção entre os objetivos mencionados pelo método e o objeto de estudo no trabalho. No procedimento MUPOM, nesta etapa, cada desempenho de alternativas é calculado para escolher o conjunto de alternativas de melhor desempenho, de modo que a saída do método seja apropriada para o problema de escolha do decisor. No entanto, no estudo de Martins e Garcez (2021), é tratado do problema de ordenamento, e, portanto, um procedimento de regra de ordenamento é proposto e implementado.

Para a primeira etapa, a agregação multicritério, serão considerados três limiares de concordância, sendo  $c_1 > c_2 > c_3$ , e dois de discordância, sendo  $d_{j_{sup}} > d_{j_{inf}}$ , para cada critério  $j$ . As fórmulas utilizadas nesta primeira etapa do modelo são dadas pelas Equações (1) a (6).

Primeiro, calcula-se a diferença de desempenho ( $\Delta$ ) entre uma alternativa  $i$  para uma alternativa  $k$  dentro de um critério  $j$ , considerando cada período de tempo  $t$  (Equação (1)).

$$\Delta = \begin{cases} g_j^t(a_i) - g_j^t(a_k), & \text{se critério } j \text{ for de maximização} \\ g_j^t(a_k) - g_j^t(a_i), & \text{se critério } j \text{ for de minimização} \end{cases} \quad (1)$$

onde  $g_j^t(a_i)$  é o desempenho da alternativa  $i$  no critério  $j$  considerando o período  $t$ .

O Índice de concordância  $C^t(a_i, a_k)$  e de discordância  $D_j^t(a_i, a_k)$  da alternativa  $i$  comparada com a alternativa  $k$  no período  $t$  é dado pelas Equações (2) e (3).

$$C^t(a_i, a_k) = \sum_{j:\Delta \geq 0} w_j \quad (2)$$

$$D_j^t(a_i, a_k) = \begin{cases} 0, & \text{se } \Delta \geq 0 \\ \Delta, & \text{se } \Delta < 0 \end{cases} \quad (3)$$

onde  $w_j$  é o peso do critério  $j$ ,  $C^t(a_i, a_k)$  é o índice de concordância da alternativa  $i$  comparada com a alternativa  $k$  no período  $t$ , e  $D_j^t(a_i, a_k)$  é o índice de discordância da alternativa  $i$  comparada com a alternativa  $k$  dentro do critério  $j$  no período  $t$ .

Para o cálculo das relações de sobreclassificação forte  $a_i S_F^t a_k$ , fraca  $a_i S_f^t a_k$  e de incomparabilidade  $R^t(a_i, a_k)$  da alternativa  $i$  comparada com a alternativa  $k$  no período  $t$  têm-se as Equações (4), (5) e (6), respectivamente.

$$a_i S_F^t a_k = \left[ \text{se} \left( e \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sum_{j:g_j^t(a_i) > g_j^t(a_k)} w_j}{\sum_{j:g_j^t(a_i) < g_j^t(a_k)} w_j} > 1 \\ C^t(a_i, a_k) \geq c_1 \\ D_k^t(a_i, a_k) \leq dj_{sup}, \forall j \end{array} \right. \right) \right] \text{ou} \left[ \text{se} \left( e \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sum_{j:g_j^t(a_i) > g_j^t(a_k)} w_j}{\sum_{j:g_j^t(a_i) < g_j^t(a_k)} w_j} > 1 \\ C^t(a_i, a_k) \geq c_2 \\ D_k^t(a_i, a_k) \leq dj_{inf}, \forall j \end{array} \right. \right) \right] \quad (4)$$

$$a_i S_f^t a_k = \text{se} \left( e \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sum_{j:g_j^t(a_i) > g_j^t(a_k)} w_j}{\sum_{j:g_j^t(a_i) < g_j^t(a_k)} w_j} > 1 \\ C^t(a_i, a_k) \geq c_3 \\ D_k^t(a_i, a_k) \leq dj_{sup}, \forall j \end{array} \right. \right) \quad (5)$$

$$R^t(a_i, a_k) = \left\{ \begin{array}{l} P, \text{ se } \left\{ \begin{array}{l} a_i S_F^t a_k \\ \text{N\~{a}o}(a_k S_F^t a_i) \\ \text{N\~{a}o}(a_k S_f^t a_i) \end{array} \right\} \\ Q, \text{ se } \left\{ \begin{array}{l} a_i S_F^t a_k \\ a_k S_f^t a_i \end{array} \right\} \text{ ou se } \left\{ \begin{array}{l} a_i S_f^t a_k \\ \text{N\~{a}o}(a_k S_F^t a_i) \\ \text{N\~{a}o}(a_k S_f^t a_i) \end{array} \right\} \\ I, \text{ se } \left\{ \begin{array}{l} a_i S_f^t a_k \\ a_k S_f^t a_i \end{array} \right\} \\ R, \text{ se } \left\{ \begin{array}{l} \text{N\~{a}o}(a_i S_F^t a_k) \\ \text{N\~{a}o}(a_i S_f^t a_k) \\ \text{N\~{a}o}(a_k S_F^t a_i) \\ \text{N\~{a}o}(a_k S_f^t a_i) \end{array} \right\} \end{array} \right. \quad (6)$$

onde  $S_F^t$  é uma sobreclassificação forte da alternativa  $i$  comparada com a alternativa  $k$  no período  $t$ ,  $S_f^t$  é uma sobreclassificação fraca da alternativa  $i$  comparada com a alternativa  $k$  no período  $t$ ,  $dj_{sup}$  é o limiar de discordância superior do critério  $j$ , e  $dj_{inf}$  é o limiar de discordância inferior do critério  $j$ .

Portanto, para cada par de alternativas (no presente estudo representado pelos trechos das rodovias federais), as relações binárias são agregadas usando uma medida de distância entre pré-ordens que captura Indiferença ( $I$ ), Preferência Estrita ( $P$ ), Preferência Fraca ( $Q$ ) e Incomparabilidade ( $R$ ), que são estabelecidas por Ben Amor e Martel (2014), conforme mostrado na Tabela 1.

Para isso, primeiro é computada para cada par de alternativas em cada período  $t$  a distância entre a relação de preferência calculada e as relações binárias de preferência. Depois, as distâncias são agregadas através da ponderação do peso de cada período  $t$ , prevalecendo a relação binária a qual possui o menor valor ponderado resultante.

*Tabela 1 - Valores numéricos das distâncias entre as relações binárias de preferência*

Relações Binárias	I	Q	P	R	-Q	-P
I	0	1	1,263	1,579	1	1,263
Q	1	0	1	1,579	1,474	1,895
P	1,263	1	0	1,579	1,895	2
R	1,579	1,579	1,579	0	1,579	1,579
-Q	1	1,474	1,895	1,579	0	1
-P	1,263	1,895	2	1,579	1	0

*Fonte: Adaptado de Ben Amor e Martel (2014)*

Dessa forma, é possível realizar a próxima etapa do modelo, a agregação multiperíodo, determinando as relações de sobreclassificação e de preferência conjunta dos  $t$  períodos. Em seguida, na fase de exploração, Martins e Garcez (2021) propõe uma regra de classificação, baseado no método ELECTRE II de ordenação (BOUYSSOU; VINCKE, 1997), obtendo assim dois pré-ordenamentos (ascendente e descendente), gerado a partir das relações de sobreclassificação forte  $a_i S_F^t a_k$  e fraca  $a_i S_f^t a_k$  final do MUPOM.

As etapas do procedimento da regra de classificação para obter a ordem decrescente são as seguintes (MARTINS; GARCEZ, 2021):

- 1) Realizar o procedimento de transpor a matriz de sobreclassificação MUPOM;
- 2) Determinar o subconjunto de alternativas que não sobreclassifica forte ou fracamente qualquer outra alternativa (esse subconjunto representa a primeira classe no ordenamento decrescente);
- 3) Retirar do conjunto de alternativas e, da matriz de sobreclassificação transposta, as alternativas presentes no subconjunto determinado;

- 4) Repetir procedimento 2) e 3) até todas as alternativas estiverem sido classificadas (esse ranking corresponde o ordenamento decrescente).

As etapas do procedimento da regra de classificação para obter a ordem crescente são as mesmas etapas para obter a ordem decrescente, exceto pela fase 1) de transpor a matriz de sobreclassificação MUPOM.

Depois disso, esses dois pré-ordenamentos completos devem ser combinados, onde para cada classe é atribuído um peso arbitrário, de valores com crescimento e decrescimento constante para os ordenamentos crescentes e decrescentes respectivamente, e o peso combinado das alternativas é atribuído pela multiplicação do peso da classe em ambos os pré-ordenamentos. Com isso, o ranking final MUPOM das alternativas é atribuído pelo ordenamento crescente dos pesos combinados.

Na última fase do método, a fase de monitoramento, novos períodos devem ser considerados, como também os resultados de ordenamento das alternativas devem ser reavaliados periodicamente pelo decisor para garantia da implementação eficiente de seu processo decisório, nesse caso, os trechos de rodovias federais ordenados.

## 4 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção são abordados os trabalhos relacionados ao tema, evidenciando estudos que embasaram esta pesquisa, como os critérios de decisão para a problemática de ordenamento dos trechos em rodovias federais, os métodos de obtenção dos pesos dos períodos e, por fim, mostrar os estudos que utilizaram SADs para auxiliar na mesma problemática.

### 4.1 FATORES CONTRIBUINTE PARA ACIDENTES DE TRÂNSITO

Para Cardoso (1999), a implementação e a implantação de medidas de prevenção ou de diminuição dos problemas da segurança no trânsito necessitam do pleno conhecimento dos fenômenos dos acidentes e dos fatores que influenciam a sua ocorrência. Para maior detalhamento e conhecimento dos acidentes, também se faz necessária a classificação desses acidentes de acordo com sua severidade aos envolvidos nos possíveis acidentes.

Dentre os fatores que se relacionam com os acidentes em rodovias federais, sabe-se que mais de 90% deles estão associados a fatores humanos. Apenas 10% têm suas causas relacionadas às condições ambientais, condições da via ou condições do veículo (ROZESTRATEN; DOTTA, 1996).

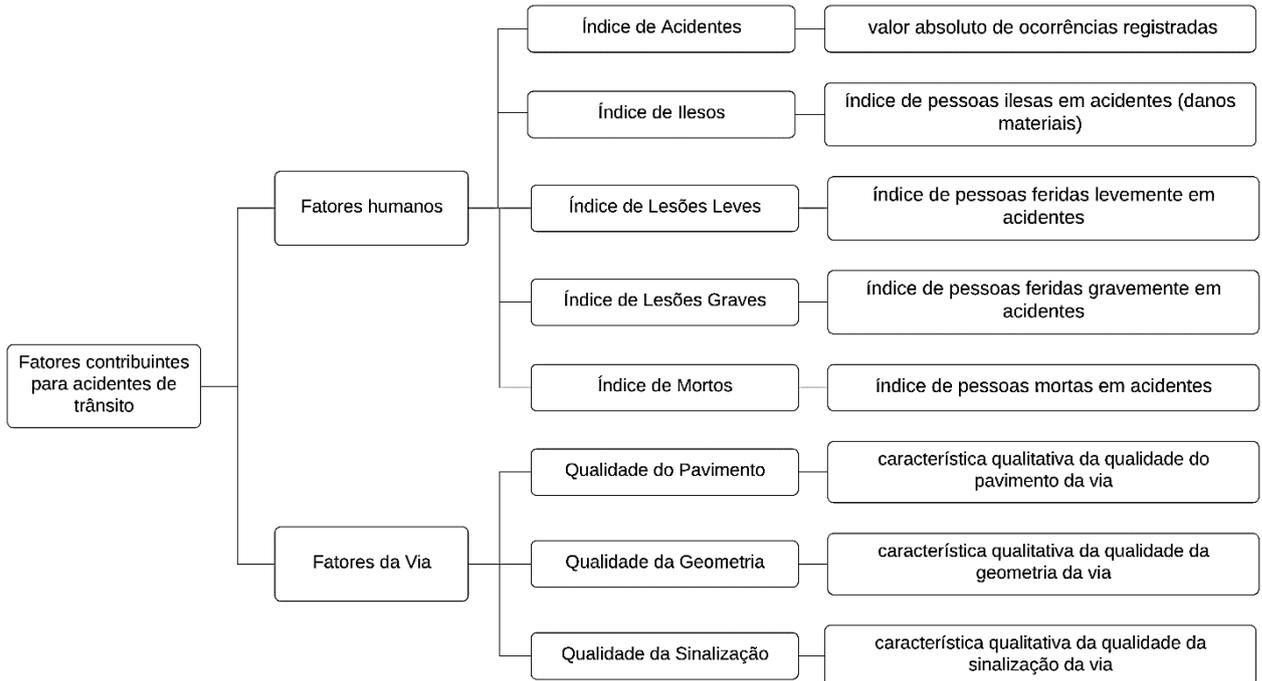
Para os fatores humanos, segundo Andrade et al. (2003), destaca alguns fatores ligados ao comportamento humano considerados como determinantes na gravidade dos acidentes de trânsito, citando, entre outros, a falta de atenção, o desrespeito à legislação de trânsito, como consumo de bebidas alcoólicas, abuso de velocidade, entre outros; associados, em geral, a uma inadequada fiscalização dos órgãos públicos federais.

Também, ressalta-se a relevância dos fatores externos, de igual importância quanto à gestão de riscos para diminuição dos acidentes de trânsito, podendo os fatores relacionados a sinalização da via, a mudança de ambiente (luz/sol/noite), as condições meteorológicas do local, até mesmos as condições de solo das vias, que podem causar e colocar em risco o condutor e demais usuários das vias.

Dessa forma, é possível afirmar que são inúmeros os fatores que podem influenciar as ocorrências do acidente, sendo assim Martins (2020), em seu estudo propôs um modelo de decisão multicritério para priorizar trechos de estradas, com base em sua criticidade e nos riscos que os usuários enfrentam. Para isso, é apresentado a utilização de oito critérios de decisão,

sendo cinco critérios do estado físico dos envolvidos em acidentes, e três critérios da qualidade da malha rodoviária, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Fatores contribuintes para acidentes em rodovias relacionado aos fatores humanos e de qualidade da rodovia



Fonte: Martins (2020)

Dessa forma, inicialmente no SAD proposto, encontram-se disponíveis os oito critérios sugeridos pelo autor, como também, a possibilidade de o agente interessado (decisor) utilizar outros critérios que julgue necessários para sua tomada de decisão.

#### 4.2 DECISÃO MULTICRITÉRIO E MULTIPERÍODO

Segundo Almeida e Costa (2002), existem diversos modelos de decisão multicritério. Alguns fazem uma decomposição hierárquica do conjunto de ações possíveis, dividindo-o em categorias predefinidas, estabelecendo as melhores ações e reconsiderações ao decisor. E como resultado, pretendem encontrar um subconjunto pequeno e restrito de ações satisfatórias, facilitando assim, a tomada de decisão e esforço cognitivo do tomador de decisão.

Entretanto, em problemas complexos de decisão, é necessário considerar a problemática analisada em diferentes períodos, ou seja, segundo uma abordagem multiperíodo, considerando assim as performances das alternativas no tempo presente e no passado. Problemas esses, que são frequentemente encontrados em situações cotidianas, tais como, a tomada de decisão sobre

investimentos, diagnóstico médico, dentre outros, na qual os inputs para a decisão são coletados em diferentes períodos (CHEN; LI, 2011; LIN; LEE; TING, 2008; MARTINS, 2020; WEI, 2011).

Com base na literatura, percebe-se que os trabalhos referentes a problemas de tomada de decisão multicritério e multiperíodo podem avaliar contextos tanto de decisão em grupo ou individual, decisão que envolve incerteza ou não, podem trabalhar com pesos para os períodos advindos diretamente do decisor como também por funções matemáticas já existentes, e pode lidar tanto de problemas que seguem o modelo aditivo como problemas de sobreclassificação.

A principal referência bibliográfica para esse estudo, que trata da utilização de um método multicritério e multiperíodo para a análise de priorização de trechos de acidentes em rodovias federais, é o trabalho de Martins e Garcez (2021), onde o método aplicado é usado para ordenar os trechos analisados.

Nesse estudo, Martins e Garcez (2021) utilizaram o método MUPOM adaptado para determinar a posição final de ordenamento de um conjunto de 11 trechos de rodovias federais em Pernambuco. A adaptação tida no método, presente na fase de exploração, foi proposta pelos autores para garantir a problemática de classificação do estudo, realizando um ordenamento de criticidade dos trechos rodoviários.

Neste estudo, o tomador de decisão lida com a problemática de ordenamento, e um procedimento é proposto usando uma regra de ordenamento para obter uma pré-ordenamento combinando (ascendente e descendente) semelhante ao utilizado no método ELECTRE II. Esse estudo busca diferenciar-se desenvolvendo um sistema de apoio à decisão (SAD) que permita a generalização do processo de análise de priorização de conjunto de trechos de rodovias para um conjunto arbitrário de trechos, critérios e períodos, especificados pelo tomador de decisão referentes ao seu processo decisório.

Ademais, os trabalhos de Xu (2008) e Xu e Yager (2008) comentam que além dos meios mais conhecidos dos métodos multicritérios, existem procedimentos matemáticos que podem ser utilizados para a definição dos pesos dos períodos, tais como: série aritmética, geométrica, distribuição exponencial, dentre outras.

Assim, evidenciando as diversas metodologias para a determinação dos pesos dos períodos, procedimento este crucial segundo os métodos de decisão multicritério e

multiperíodo, os autores Xu (2008) e Xu e Yager (2008) propuseram a utilização de um conjunto de oito métodos para estabelecer pesos para períodos, descritos na Tabela 2.

*Tabela 2 – Métodos de definição dos pesos dos períodos*

Método	Entrada
Rank Order Centroid (ROC)	Ordenamento dos períodos em ordem crescente de prioridade.
Série Aritmética	Definir o coeficiente angular da série (valor entre 0 e 0.1).
Série Geométrica	Definir a razão da série (valor maior ou menor que 0).
Basic Unit-interval Monotonic (BUM)	Definir variável da função monótona básica (valor maior ou menor que 0).
Pesos iguais	Define automaticamente pesos iguais para todos os períodos.
Distribuição Exponencial Inversa	Define uma sequência de valores crescentes.
Idade Média	Definir a idade média (valor maior que 0).
Definição Empírica	Decisor define empiricamente os pesos dos períodos (somatório deve resultar em 1).

*Fonte: Adaptado de Xu (2008) e Xu e Yager (2008)*

Uma abordagem semelhante foi utilizada para o estabelecimento dos pesos dos critérios, sendo implementados para esse caso, os métodos ROC e Definição Empírica, aos quais foram atribuídas ao SAD proposto.

#### 4.3 SAD EM ACIDENTES DE TRÂNSITO

A utilização de SAD para a análise de melhoria e gestão de redução de riscos de acidentes mostra-se bastante benéfico segundo estudos presentes na literatura. O trabalho de Mendonça e Garcez (2021), que desenvolveram um sistema de suporte à decisão em formato de aplicativo de *smartphone* Android, aplicado à avaliação e tomada de decisão multicritério para priorização de trechos nas rodovias federais de Pernambuco em hierarquia de criticidade da acidentalidade de trânsito, através do uso dos dados disponíveis no banco de dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF).

O trabalho de Martins e Garcez (2017) que desenvolveram um sistema de informação (SI) utilizando a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA) e a ferramenta Microsoft Excel, realizando um estudo de análise e estatística descritiva dos panoramas dos acidentes de trânsito.

Como também, Ryder et al. (2017), que se baseou no desenvolvimento de um SAD para os veículos, com o objetivo de fornecer avisos de pontos críticos de acidentes aos motoristas, com base em análises na localização do veículo aplicado a um conjunto de dados históricos nacionais de acidentes. Verificou-se que, os avisos disponibilizados no veículo, em um teste de

campo com 57 motoristas profissionais, durante um período de quatro semanas, apresentaram uma melhoria significativa no comportamento do motorista ao longo do tempo.

## 5 SISTEMA DE APOIO À DECISÃO (SAD)

Esta seção descreve a implementação do SAD, apresentando o seu funcionamento e descrevendo o procedimento de entrada dos dados em uma aplicação prática exemplificativa.

### 5.1 MODELAGEM DO PROBLEMA

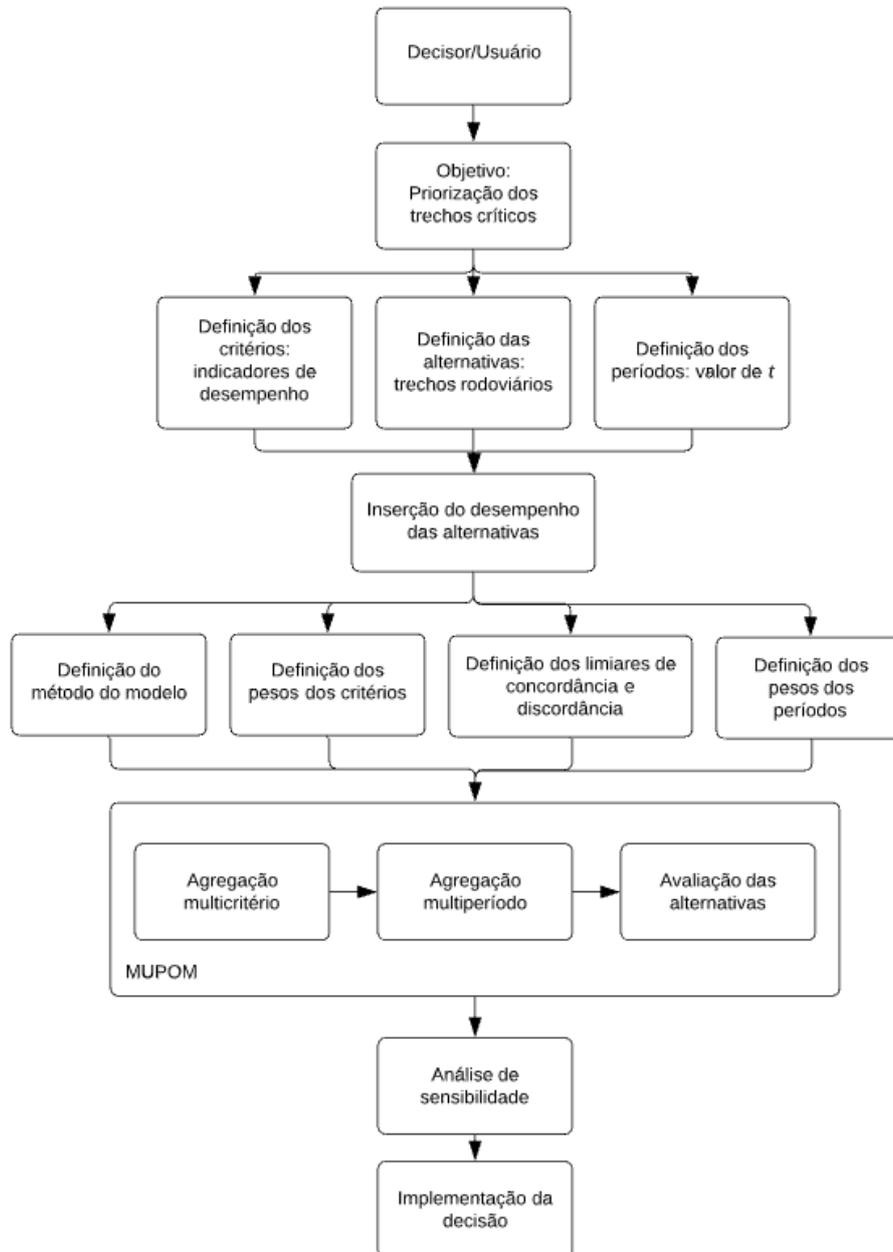
Para a modelagem do problema, foi desenvolvido a estruturação conforme mostrado na Figura 3. Deste modo, tem-se que para cada etapa:

- 1) Decisor/Usuário: o sistema é desenvolvido para usuários responsáveis pela intervenção nos trechos rodoviários de modo a diminuir o risco de acidentes (representantes do poder público, órgãos responsáveis como PRF e o DNIT);
- 2) Objetivo: Priorização dos trechos críticos: o objetivo da problemática do modelo é a priorização (ordenamento) dos trechos de rodovias em uma hierarquia de criticidade de acidentes de trânsito;
- 3) Definição dos critérios: considera-se que os critérios apropriados ao problema são aqueles considerados como indicadores de desempenho de segurança rodoviária, sendo disponibilizado como padrão no sistema oito critérios estabelecidos no trabalho de Martins (2020), sendo possível inserir novos critérios de acordo com a necessidade do usuário;
- 4) Definição das alternativas: considera-se que as alternativas ao problema são os trechos rodoviários, sendo padrão nos sistemas os trechos das rodovias federais de Pernambuco, sendo possível inserir novos trechos de rodovias federais de acordo com a necessidade do usuário;
- 5) Definição dos períodos: definição da quantidade de períodos de tempo  $t$  a serem considerados, onde serão avaliados os desempenhos das alternativas em cada período;
- 6) Inserção do desempenho das alternativas: levantamento do desempenho das alternativas nos diferentes critérios e para cada período considerado;
- 7) Definição do método do modelo: o decisor deve definir o método de resolução do problema de ordenação, sendo disponibilizados no sistema os métodos MUPOM e Método Aditivo de Agregação (ainda não implementado);
- 8) Definição dos pesos dos critérios: nesta etapa estima-se os pesos dos critérios, ou seja, o grau de importância que cada critério possui com base nas preferências do

decisor, sendo disponibilizado que o decisor possa definir empiricamente ou através do método *Ranking Order Centroid* (ROC) (EDWARDS; BARRON, 1994);

- 9) Definição dos limiares de concordância e discordância: os limiares são definidos empiricamente pelo decisor, e são utilizados para estabelecer comparações entre as alternativas serem preferíveis às demais;
- 10) Definição dos pesos dos períodos: nesta etapa estima-se os pesos dos períodos, onde o decisor possui sete métodos de definição de pesos para os períodos, além da definição empírica, disponibilizados no sistema para considerar;
- 11) Agregação multicritério: nesta etapa onde inicia-se o MUPOM, para cada período considerado, as alternativas são comparadas par-a-par de modo a construir as relações de preferência a partir do grau de importância dos critérios e dos limiares de concordância e discordância. Adicionalmente, é possível obter o resultado para cada período;
- 12) Agregação multiperíodo: de posse dos pesos dos períodos e das relações de preferência obtidas na agregação multicritério, é realizada a agregação multiperíodo a qual tem como resultado uma nova relação de preferência média mínima para cada comparação;
- 13) Avaliação das alternativas: obtida a nova relação de preferência, definida pelo MUPOM, é proposto um procedimento utilizando uma regra de classificação para obter uma combinação dos dois pré-ordenamentos (ascendente e descendente), como também o cálculo do ranking final das alternativas.
- 14) Análise de sensibilidade: deve ser analisado como e quanto da variação dos pesos dos critérios, os pesos dos períodos e os limiares de concordância e discordância interferem no resultado;
- 15) Implementação da decisão: o decisor deve implementar a decisão tendo como referência os resultados obtidos.

Figura 3 – Estrutura do problema



Fonte: O autor (2022)

## 5.2 MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DO SAD

Para o desenvolvimento do SAD, foram utilizados a linguagem de programação *Dart* (Flutter), uma linguagem orientada a objetos e que interpreta todo o código na forma de *widgets*. Esta linguagem foi utilizada principalmente por permitir o desenvolvimento de um *software* amigável ao usuário (decisor), permitindo uma maior facilidade de manipulação no sistema e na etapa de entrada dos dados.

Para a implementação do sistema foram utilizadas as seguintes ferramentas de desenvolvimento:

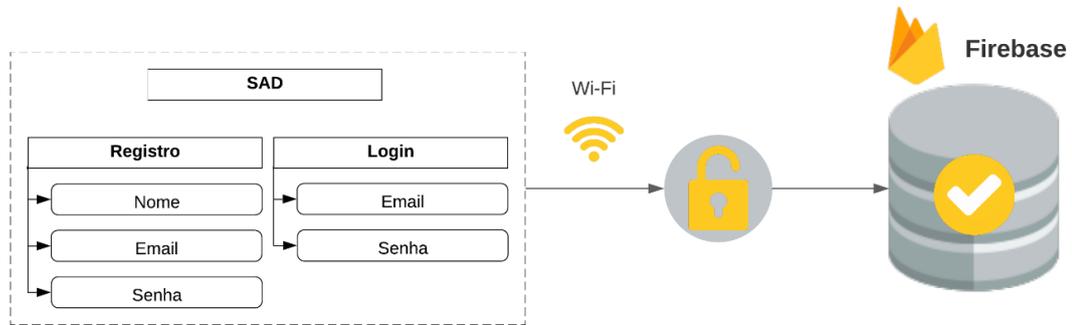
- Dart – Flutter: linguagem de programação utilizada para desenvolvimento das interfaces, *widgets* e funções do sistema (GOOGLE, 2017a).
- Visual Studio Code: plataforma de edição de código de programação (MICROSOFT, 2015).
- Firebase Authentication: permitir autenticação do usuário para acesso aos dados do sistema mediante *login* com e-mail e senha (GOOGLE, 2016).
- Cloud Firestore – Firebase: banco de dados *online* para armazenagem e obtenção dos dados dos usuários (GOOGLE, 2017b).
- Firebase Hosting: repositório em nuvem para hospedagem de sistemas e aplicativos via internet (GOOGLE, 2014).

### 5.2.1 Sistema de login e autenticação de usuário

O Firebase Authentication (autenticação) é um método de validação de credenciais de usuários para acesso seguro a dados armazenados na plataforma em nuvem da Google. Trata-se de uma função de registro de usuários através de e-mail e senha. Outros dados são comumente solicitados durante o registro, como o nome, idade, etc. Todos os dados fornecidos pelos usuários são armazenados no Firebase, e o principal objetivo deste registro é diferenciar cada usuário no sistema, permitindo assim, uma maior segurança dos dados e informações no sistema implementado.

No SAD desenvolvido, esse método é utilizado para o registro de novos usuários, como também para efetuar o *login* de todos os usuários, onde é preciso inserir no sistema o e-mail e senha usados durante o registro. Com isso, o sistema vai ser sincronizado com os dados do usuário no Firebase, sendo esquematizado abaixo na Figura 4.

Figura 4 – Método de autenticação e login de usuários no SAD

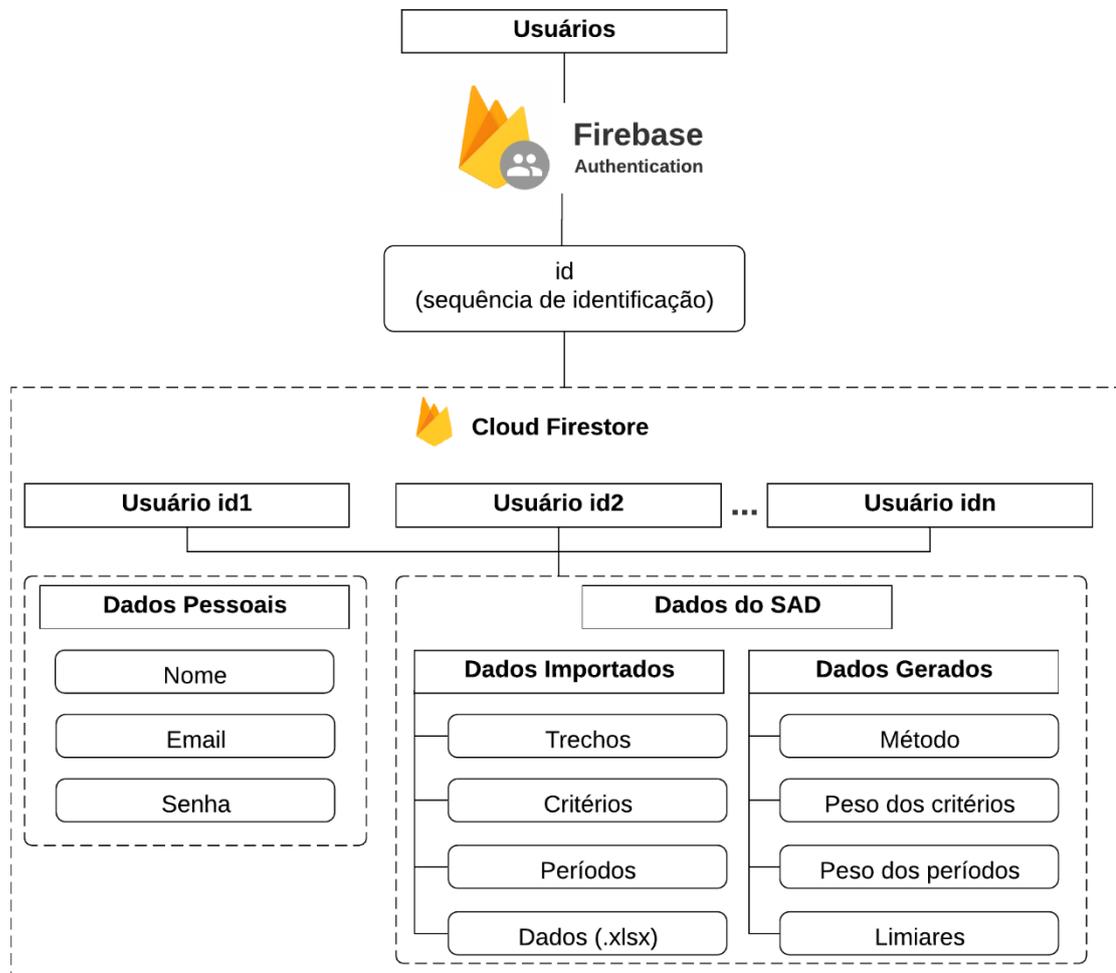


Fonte: Adaptado de Google (2016)

### 5.2.2 Banco de dados Firebase

Ao realizar o login no sistema, o usuário possui permissão para armazenar e criar dados no sistema, de acordo com a finalidade da aplicação. Para este estudo, é utilizado o Cloud Firestore, um banco de dados não relacional (NoSQL) que permite armazenamento, sincronização e consulta dos dados em tempo real do usuário no sistema implementado. Abaixo, é apresentado a estrutura de armazenamento no banco de dados segundo o framework da Figura 5, onde é visualizado a integração dos dois ambientes, Firebase Authentication e o Cloud Firestore.

Figura 5 – Framework do Cloud Firestore desenvolvido no SAD



Fonte: Adaptado de Google (2017b)

Cada usuário, diferenciado no SAD através de um identificador único id, gerado pelo sistema durante o registro para novos usuários, é utilizado como “chave” de acesso para armazenamento e consulta dos dados no banco de dados, e assim, permite uma maior segurança no sistema garantindo a confidencialidade dos dados do usuário.

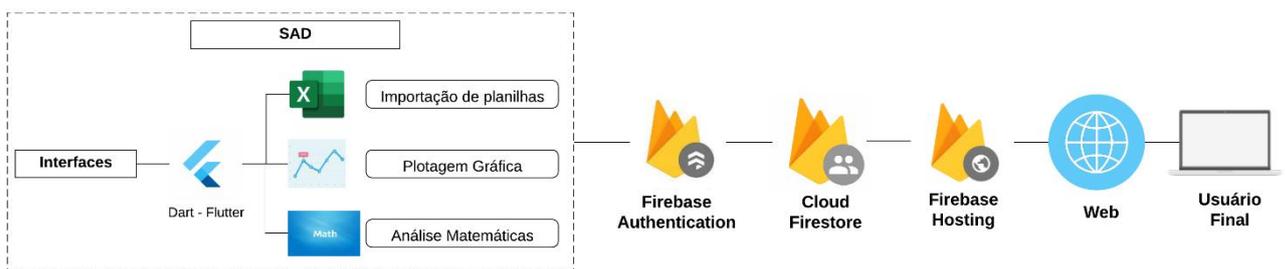
### 5.2.3 Sistema de hospedagem

Dart é uma linguagem de programação otimizada para o desenvolvimento de aplicações e sistemas rápidos em diversas plataformas (iOS, Android, macOS, Windows, Linux e web). Seu objetivo é oferecer a linguagem de programação mais produtiva para o desenvolvimento multiplataforma, emparelhada com uma plataforma de execução em tempo flexível para *frameworks* de aplicativos (GOOGLE, 2017a). A linguagem possui um vasto conjunto de

bibliotecas centrais, fornecendo elementos essenciais para muitas tarefas diárias de desenvolvimento.

Para o SAD, as principais bibliotecas utilizadas foram: Excel 1.1.5 (SINGH, 2019), Syncfusion 19.3.43 (SYNCFUSION, 2019), e Math 1.0 (DART, 2017), utilizadas com a finalidade de, respectivamente, realizar a importação e leitura dos dados em planilhas (arquivos '.xlsx'), plotagem e visualização de dados em formatos gráficos animados, e realizar o processamento de operações matemáticas matriciais com alto desempenho. Por fim, é utilizado o Firebase Hosting como serviço de hospedagem do sistema desenvolvido, que após ser disponibilizado *online*, os usuários são capazes de acessar através de uma *url* de acesso, conforme representa a Figura 6.

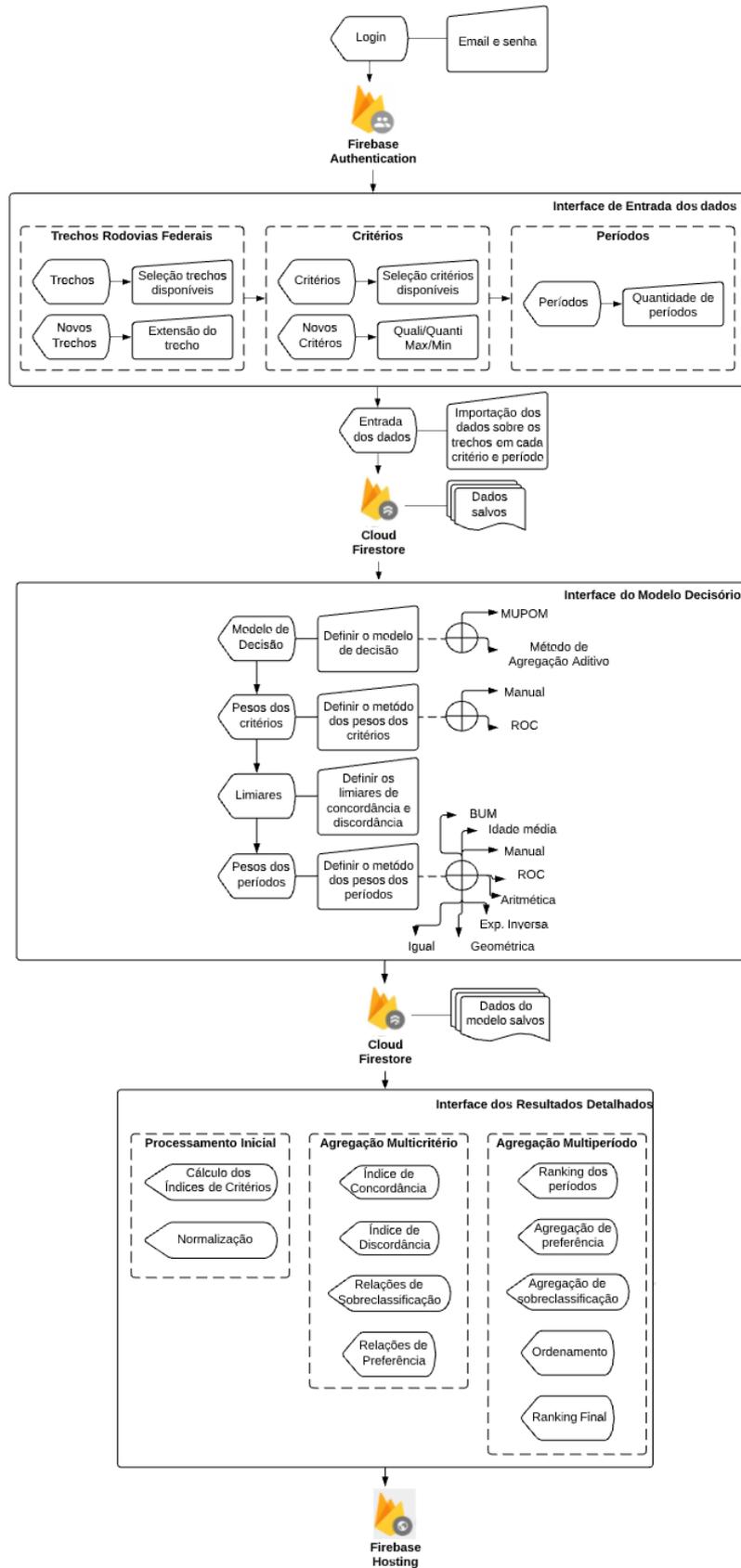
Figura 6 – Método de hospedagem online do SAD



Fonte: Adaptado de Google (2014)

Com isso, através da Figura 7 é possível ver o caminho completo que o usuário faz, e as ações necessárias que ele deverá realizar em cada tela. Além disso, é evidenciado onde ocorre cada etapa do método base.

Figura 7 - Modelagem do SAD



### 5.3 INTERFACES DE ENTRADA DOS DADOS

Para ter acesso ao sistema faz-se necessário informar e-mail e senha, ou criar uma nova conta na aplicação, caso o usuário ainda não a possua (Figura 8). Caso o usuário tente fazer qualquer autenticação que não esteja de acordo com as regras da aplicação, como: campos em branco, e-mail e senha inválidos ou também se o usuário não possuir cadastro na aplicação, é exibida uma mensagem de erro. Essa validação inicial é necessária para garantir a segurança dos dados do usuário, já que a aplicação armazenará em um servidor online todos os dados importados para utilizações futuras do decisor.

Figura 8 – Tela: login do usuário

← LOGIN

**Welcome Back**  
Sign in with your email and password

👤 Email

🔒 Password

[Forgot Password?](#)

LOGIN

Don't have an account? [SIGN UP](#)

*Fonte: o autor (2022)*

Ao realizar o login com sucesso, o usuário é redirecionado para a página de entrada, onde é possível observar as primeiras funcionalidades da aplicação, como: definição dos parâmetros (trechos, critérios e períodos), importação dos dados e obter detalhes dos dados importados anteriormente. A Figura 9, mostra a tela inicial da aplicação, bem como as funcionalidades descritas.

Nessa interface, as funcionalidades intituladas “*Definição dos Trechos*”, “*Definição dos Critérios*” e “*Definição dos Períodos*”, permitem ao decisor utilizar trechos e critérios já disponíveis no sistema, podendo ser definidos novos, respectivamente em “*Novos Trechos*” e “*Novos Critérios*”. Ressaltando que, para a definição de novos trechos deve ser informado a extensão em quilômetros (km), e para novos critérios, deve ser informado se o critério é de

minimização ou maximização, como também, se trata de um critério quantitativo ou qualitativo, e em caso de um critério quantitativo, o valor de escala quantitativa do critério.

Figura 9 – Tela: entrada de dados no SAD

Fonte: o autor (2022)

Assim, após essas definições, o decisor deverá carregar no SAD um arquivo de extensão *'xlsx'*, contendo os dados de desempenho dos trechos nos critérios e períodos definidos e o VMDa, que representa a quantidade média de automóveis que trafegam no trecho, através da funcionalidade “Validação”, conforme as instruções presentes na Figura 10. Enquanto que, abaixo desta funcionalidade, podem se visualizar os conjuntos de dados importados anteriormente pelo decisor e, portanto, salvos no banco de dados *online* do sistema.

Figura 10 – Instruções de importação dos dados no SAD

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	235	64	19	1	142	2	3	3	7839,885		
2	17	8	10	2	22	4	3	5	2110,587		
3	223	46	19	8	158	2	3	3	6889,927		
4	143	29	16	4	94	2	3	4	17835,39		
5	150	41	21	4	108	2	3	3	7343,324		
6	139	57	17	5	113	2	3	3	7784,916		
7	102	31	13	2	79	1	3	4	2455,51		
8	98	32	15	6	80	2	3	4	2815,841		
9	105	45	24	19	80	2	3	3	2332,138		
10	61	24	33	8	56	2	3	3	2188,914		
11	121	30	17	9	90	2	2	4	1786,468		
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											

Diagram illustrating data import instructions. A bracket on the right groups rows 1-11 as 'Trechos'. A bracket at the bottom groups columns A-K as 'Períodos'. A circle labeled 'Critérios' points to columns A-G. A circle labeled 'VMDa' points to column I. A circle labeled 'Períodos' points to column J. Arrows indicate the mapping of these elements to the spreadsheet columns.

Fonte: o autor (2022)

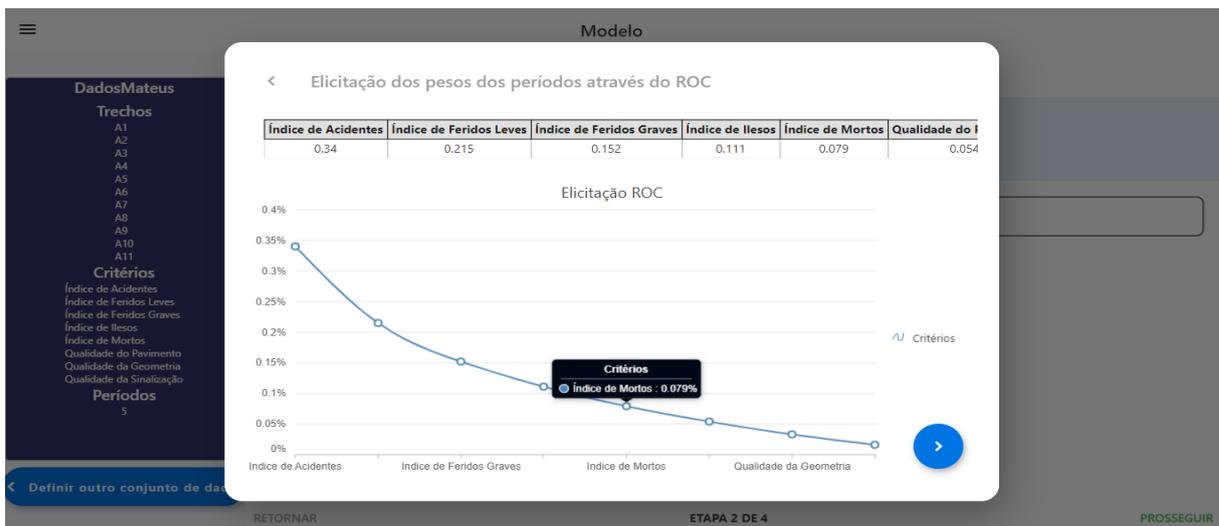
#### 5.4 INTERFACES DO MODELO DECISÓRIO

Na interface do modelo decisório, o usuário deve definir algumas informações necessárias no sistema referentes ao modelo multicritério de resolução do problema do decisor. Primeiramente, o usuário seleciona o conjunto de dados importados com que os parâmetros do modelo decisório estarão vinculados. Em seguida, ele define as quatro funcionalidades do modelo multicritério:

- Método do modelo de decisão: Selecionando dentre “MUPOM” e “Método Aditivo de Agregação”.
- Método dos pesos dos critérios: Selecionando dentre “Empírica” e “ROC”.
- Limiares: Os limiares de Concordância no método MUPOM representa três valores, sendo que,  $c_1 > c_2 > c_3$ , e os limiares de Discordância no mesmo método possuem a mesma quantidade de critérios definidos, sendo que os limiares superiores ( $d_{sup}$ ) devem ser maior que os limiares inferior ( $d_{inf}$ ) para todos os critérios.
- Método dos pesos dos períodos: Selecionando dentre as opções presentes na Tabela 2, e definindo os parâmetros específicos do método selecionado.

Para proporcionar uma melhor compreensão ao usuário dos pesos dos critérios e períodos, em ambos os métodos é realizada uma plotagem gráfica dos valores resultantes do método selecionado pelo usuário, conforme a Figura 11. Conforme mostra a figura, é apresentado a segunda etapa do modelo, o método dos pesos dos critérios, onde foi optado pela utilização do método ROC para definição dos pesos, e o sistema apresenta um gráfico de linhas dos pesos elicitados.

Figura 11 – Plotagem gráfica dos pesos dos critérios através do ROC



Fonte: o autor (2022)

## 5.5 INTERFACES DOS RESULTADOS DETALHADOS

Finalizando as etapas de definição dos parâmetros do modelo na interface anterior, os dados serão salvos nos sistemas e permanecerão disponíveis para utilização posterior do usuário. Por seguinte, o decisor é direcionado a interface dos resultados do SAD, onde é executado todas as etapas do modelo multicritério atualmente disponível, o MUPOM.

Na interface de execução do modelo multicritério, apresentada na Figura 12, apresentam as etapas do modelo descritas na Figura 3 e detalhadas na modelagem da Figura 7, onde cada funcionalidade é dividida por abas laterais e seus respectivos títulos.

Figura 12 – Resultados detalhados do SAD

Alternativas	Descending weighting	Ascending weighting	Intersection weighting	Final Ranking MP-MCDM
A1	0.6363636363636364	0.5454545454545454	1.1818181818181817	4
A2	0.5454545454545454	0.4545454545454546	1	5
A3	0.6363636363636364	0.0909090909090909	0.7272727272727273	8
A4	0.1818181818181817	0	0.1818181818181817	11
A5	0.7272727272727273	0.6363636363636364	1.3636363636363638	3
A6	0.4545454545454546	0.3636363636363636	0.8181818181818182	6
A7	0.3636363636363636	0.1818181818181817	0.5454545454545454	9
A8	0.2727272727272727	0.0909090909090909	0.3636363636363636	10
A9	0.5454545454545454	0.2727272727272727	0.8181818181818181	7
A10	0.8181818181818181	0.7272727272727273	1.5454545454545454	2
A11	0.9090909090909091	0.8181818181818181	1.7272727272727272	1

Fonte: o autor (2022)

De modo geral, através dos resultados obtidos nessa interface, é mostrado os pré-ordenamentos ascendentes e descendentes, os respectivos valores de pesos do ordenamento com o qual irão compor um valor de peso conjunto utilizado para o resultado do ranking final das alternativas, de acordo com os resultados do MUPOM.

Finalizando, através dos resultados detalhados apresentados nessa interface, o SAD permite que decisões sejam melhor norteadas, tomando como referência os resultados executados pela aplicação, que por meio deles, órgãos responsáveis podem dedicar esforços aos trechos considerados mais críticos (aqueles que obtiverem as primeiras posições no ordenamento), buscando assim, uma melhor utilização dos recursos disponíveis; em outras palavras, os responsáveis pela segurança no trânsito podem diminuir o risco de acidentes em Pernambuco através das informações disponibilizados pelo sistema.

## 6 VALIDAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Os decisores como, representantes do poder público e órgãos federais interessados no *website* devem realizar o cadastro, informando e-mail e senha a serem utilizados para acesso online gratuito no sistema, através do endereço (<https://database-9e53b.web.app/#/>). Além disso, é garantido o sigilo dos dados carregados no website, que permanecem disponíveis exclusivamente para o usuário cadastrado.

Nessa seção serão utilizados dados realísticos para exemplificação dos recursos do SAD. As informações de login (*exemplo@ufpe-caa.br*) e senha (*dadosexemplo*) podem ser utilizadas para acessar o sistema, caso o leitor queira reproduzir os resultados a seguir da pesquisa.

### 6.1 ENTRADA DE DADOS

Esse estudo será aplicado a onze trechos do estado de Pernambuco, Brasil, sendo as alternativas do problema de decisão, considerando-se os oito critérios de Martins (2020) e três novos critérios definidos pelo decisor, e cinco períodos de análise (2015 a 2019), referentes às ocorrências de acidentes em Pernambuco, disponibilizados pelos Dados Abertos no site da PRF. Os onze trechos escolhidos utilizados no SAD, assim como a extensão de cada trecho estão dispostos na Tabela 3:

*Tabela 3 - Lista de alternativas (trechos)*

Alternativa/Trecho	Extensão (km)
A1	7,6
A2	19
A3	53,7
A4	18,2
A5	30,9
A6	38,8
A7	16
A8	13
A9	11,2
A10	72
A11	20,8

*Fonte: o autor (2022)*

De posse das alternativas, critérios e quantidade de períodos definidos, é possível realizar a importação dos dados de desempenho das alternativas em cada critério para cada período, segundo as instruções mencionadas (Figura 10). Nesse caso, o arquivo ‘.xlsx’ deverá conter onze linhas (trechos), onze colunas (critérios) e mais uma coluna com os VMDa dos trechos, para cada uma das cinco planilhas (períodos) contidas no arquivo.

## 6.2 PARÂMETROS DO MODELO DECISÓRIO

Em seguida, selecionando o conjunto de dados importado, de título “*DadosExemplo*”, a próxima etapa é a definição das funcionalidades para o processamento do modelo decisório.

É definido inicialmente o método MUPOM como modelo de resolução do problema de decisão do decisor. Os demais parâmetros são mostrados na Tabela 4, sendo considerado que o decisor opte pela utilização do método ROC para a elicitación dos pesos dos critérios e períodos, segundo o ordenamento descrito na tabela; além disso, a tabela apresenta os limiares de concordância e discordância que necessitam ser definidos empiricamente pelo decisor no sistema.

Tabela 4 – Parâmetros do modelo decisório

Critério	Ordenamento	Peso $W_j$	Período	Ordenamento	Peso $W_t$	Limiares de Discordância		Limiares de Concordância		
						$d_{sup}$	$d_{inf}$	c1	c2	c3
C1	4°	0,1079	P1	5°	0,04	0,88	0,74	0,8	0,6	0,5
C2	1°	0,2745	P2	4°	0,09	0,88	0,76			
C3	2°	0,1836	P3	3°	0,157	0,88	0,76			
C4	3°	0,1382	P4	2°	0,257	0,88	0,71			
C5	8°	0,0388	P5	1°	0,457	0,88	0,71			
C6	9°	0,0275				0,8	0,6			
C7	7°	0,0518				0,8	0,6			
C8	6°	0,0670				0,8	0,6			
C9	5°	0,0851				0,83	0,74			
C10	10°	0,0174				0,89	0,57			
C11	11°	0,0083				0,88	0,63			

Fonte: o autor (2022)

Com os parâmetros definidos, os dados são salvos no banco de dados online, sendo criado um *widget* conforme a Figura 13, que ao ser pressionada direciona o usuário à interface dos resultados do modelo.

Figura 13 – Parâmetros do modelo salvos no banco de dados

**Parâmetros dos Dados: DadosExemplo** ⋮

Data de Criação: 2022-05-20 22:08:16,141

**Método**  
**[Multicriteria Multi-Period Outranking Method (MUPOM)]**

**Pesos dos Critérios**  
**[0.10786, 0.27453, 0.18363, 0.13817, 0.03882, 0.02746, 0.05181, 0.06696, 0.08514, 0.01736, 0.00826]**

**Limiares de Concordância**  
**[0.8, 0.6, 0.5]**

**Limiares de Discordância d(1)**  
**[0.74, 0.76, 0.76, 0.71, 0.71, 0.6, 0.6, 0.6, 0.74, 0.57, 0.63]**

**Limiares de Discordância d(2)**  
**[0.88, 0.88, 0.88, 0.88, 0.88, 0.8, 0.8, 0.8, 0.83, 0.89, 0.88]**

**Pesos dos Períodos**  
**[0.04, 0.09, 0.1567, 0.2567, 0.4566]**

Fonte: o autor (2022)

### 6.3 RESULTADOS DO MODELO DECISÓRIO

A primeira etapa dos resultados é a realização de um processamento inicial, onde o desempenho das alternativas é padronizado com os cálculos dos Índices dos Critérios, e em seguida, normalizadas segundo os métodos de maximização ou minimização dos critérios. As etapas do processamento inicial do modelo são apresentadas nas Equações (7) e (8) abaixo.

$$D_i = \frac{10^6 * d_i}{365 * VMDa_i * E_i} \quad (7)$$

$$N_j = \begin{cases} \frac{x - \min_j}{\max_j - \min_j}, & \text{se } j \text{ for maximização} \\ \frac{\min_j - x}{\max_j - \min_j}, & \text{se } j \text{ for minimização} \end{cases} \quad (8)$$

onde,  $D_i$  representa o desempenho calculado da alternativa (trecho)  $i$ ,  $d_i$  representa o valor de desempenho da alternativa,  $VMDa_i$  é o volume médio diário anual da alternativa  $i$ , e  $E_i$  é a extensão associada à alternativa  $i$ . Ademais,  $N_j$  representa a normalização do critério  $j$ ,  $x$  é o valor à ser normalizado, e  $\max_j$  e  $\min_j$  representa os valores máximo e mínimo do critério  $j$  respectivamente.

No SAD, é necessário apenas o decisor selecionar a opção disponível no menu esquerdo do sistema, e assim, os cálculos serão executados e apresentados em tabelas em abas separadas para cada período. Dessa forma, prosseguindo a execução das etapas do modelo decisório, é apresentado abaixo (Figura 14) os resultados da agregação multicritério, onde são processadas as relações de preferência entre os pares de alternativas para cada período.

Por fim, como última etapa do SAD, tem-se a agregação multiperíodo, onde é realizado a agregação conjunta dos períodos em uma análise das relações de sobreclassificação e de preferências. Estes resultados para a presente aplicação são ilustrados na Figura 15. Através dessa saída final do modelo decisório MUPOM, é possível notar que: A4 é sobreclassificada por várias outras alternativas principalmente em T4 e T5; A11 (trecho mais crítico) não sofre preferência pelas alternativas A2, A3, A4, A5, A6, A10, exceto pelo período T2, sendo mantido no resultado final.

Figura 14 – Relações de Preferência no período P1, P2, P3, P4 e P5

Trechos	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	-	P-	Q	P	Q-	I	P	P	P-	R	R
A2	P	-	Q	P	Q-	P	P	P	Q	P-	P-
A3	Q-	Q-	-	Q	P-	I	R	R	Q-	P-	P-
A4	P-	P-	Q-	-	P-	P-	P	Q	P-	P-	P-
A5	Q	Q	P	P	-	P	P	P	P	Q-	P-
A6	I	P-	I	P	P-	-	P	R	Q-	P-	P-
A7	P-	P-	R	P-	P-	P-	-	P-	P-	R	R
A8	P-	P-	R	Q-	P-	R	P	-	P-	R	R
A9	P	Q-	Q	P	P-	Q	P	P	-	R	R
A10	R	P	P	P	Q	P	R	R	R	-	P-
A11	R	P	P	P	P	P	R	R	R	P	-

Trechos	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	-	Q-	R	P	Q-	Q-	P	P	P	R	R
A2	Q	-	Q-	P	Q-	I	P	P	P	P-	P-
A3	R	Q	-	P	P	P-	R	R	R	Q-	Q-
A4	P-	P-	P-	-	P-	P-	Q	Q	Q	P-	P-
A5	Q	Q	P-	P	-	P-	P	P	P	P-	P-
A6	Q	I	P	P	P	-	P	R	R	P	P-
A7	P-	P-	R	Q-	P-	P-	-	Q	P-	R	R
A8	P-	P-	R	Q-	P-	R	Q-	-	P-	R	R
A9	P-	P-	R	Q-	P-	R	P	P	-	R	R
A10	R	P	Q	P	P	P-	R	R	R	-	P-
A11	R	P	Q	P	P	P	R	R	R	P	-

Trechos	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	-	P-	Q	Q-	Q-	Q-	P	P	P	R	R
A2	P	-	Q	P	Q-	Q-	P	P	P	P-	P-
A3	Q-	Q-	-	P-	P-	I	R	Q-	Q-	P-	P-
A4	Q	P-	P	-	P-	P-	P	P	I	P-	P-
A5	Q	Q	P	P	-	P	P	Q	Q	P-	P-
A6	Q	Q	I	P	P-	-	P	R	R	I	P-
A7	P-	P-	R	P-	P-	P-	-	I	P-	R	R
A8	P-	P-	Q	P-	Q-	R	I	-	P-	R	R
A9	P-	P-	Q	I	Q-	R	P	P	-	R	R
A10	R	P	P	P	P	I	R	R	R	-	P-
A11	R	P	P	P	P	P	R	R	R	P	-

Trechos	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	-	P	Q	P	Q-	Q-	P	Q	P	R	R
A2	P-	-	Q	P	P-	P-	I	I	P-	P-	P-
A3	Q-	Q-	-	I	P-	I	R	R	Q-	P-	P-
A4	P-	P-	I	-	P-	P-	I	P-	P-	P-	P-
A5	Q	P	P	P	-	P	P	P	P	P-	P-
A6	Q	P	I	P	P-	-	P	R	R	P-	P-
A7	P-	I	R	I	P-	P-	-	P-	P-	R	R
A8	Q-	I	R	P	P-	R	P	-	P-	R	R
A9	P-	P	Q	P	P-	R	P	P	-	R	R
A10	R	P	P	P	P	P	R	R	R	-	P-
A11	R	P	P	P	P	P	R	R	R	P	-

Trechos	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	-	P	R	P	R	P	P	R	P	P	R
A2	P-	-	I	P	P-	P	Q-	I	Q	Q	P-
A3	R	I	-	Q	P-	P	R	R	R	P-	P-
A4	P-	P-	Q-	-	P-	P-	P-	P-	P-	P-	P-
A5	R	P	P	P	-	P	Q	Q	Q	P-	P-
A6	P-	P-	P-	P	P-	-	Q	R	R	P-	P-
A7	P-	Q	R	P	Q-	Q-	-	P	Q-	R	R
A8	R	I	R	P	Q-	R	P-	-	P-	R	R
A9	P-	Q-	R	P	Q-	R	Q	P	-	R	R
A10	P-	Q-	P	P	P	P	R	R	R	-	P-
A11	R	P	P	P	P	P	R	R	R	P	-

Fonte: o autor (2022)

Figura 15 – Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking (MUPOM)

Trechos	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	-	P	R	P	Q-	Q-	P	R	P	R	R
A2	P-	-	I	P	P-	P	Q-	I	Q	P-	P-
A3	R	I	-	Q	P-	I	R	R	R	P-	P-
A4	P-	P-	Q-	-	P-	P-	P-	P-	P-	P-	P-
A5	Q	P	P	P	-	P	P	Q	Q	P-	P-
A6	Q	P-	I	P	P-	-	P	R	R	P-	P-
A7	P-	Q	R	P	P-	P-	-	P	P-	R	R
A8	R	I	R	P	Q-	R	P-	-	P-	R	R
A9	P-	Q-	R	P	Q-	R	Q	P	-	R	R
A10	R	P	P	P	P	P	R	R	R	-	P-
A11	R	P	P	P	P	P	R	R	R	P	-

Trechos	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	-	SF	-	SF	-	-	SF	-	SF	-	-
A2	-	-	S	SF	-	SF	-	S	S	-	-
A3	-	S	-	S	-	S	-	-	-	-	-
A4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A5	S	SF	SF	SF	-	SF	SF	S	S	-	-
A6	S	-	S	SF	-	-	SF	-	-	-	-
A7	-	S	-	SF	-	-	-	SF	-	-	-
A8	-	S	-	SF	-	-	-	-	-	-	-
A9	-	-	-	SF	-	-	SF	SF	-	-	-
A10	-	SF	SF	SF	SF	SF	-	-	-	-	-
A11	-	SF	SF	SF	SF	SF	-	-	-	SF	-

Fonte: o autor (2022)

Posteriormente, as etapas do procedimento de regra de classificação para obter as ordens decrescente e crescente são seguidas (Figura 16). Com os dois ordenamentos, o que já se percebe é que existe uma ligeira divergência entre elas. As alternativas A4, A7 e A8 permanecem em posições equivalentes, enquanto que as demais alternativas tiveram divergências em comparação às posições no ranking de ordem decrescente para ordem crescente. Por fim, é calculada uma posição média utilizando os dois ordenamentos, para encontrar o ordenamento final das alternativas, presente na Figura 17.

Figura 16 – Resultado do procedimento para obtenção das ordens decrescente e crescente

Rounds	Descending Order	Ascending Order
1	[A11]	[A4]
2	[A10]	[A3, A8]
3	[A5]	[A7]
4	[A1, A3]	[A9]
5	[A2, A9]	[A6]
6	[A6]	[A2]
7	[A7]	[A1]
8	[A8]	[A5]
9	[A4]	[A10]
10	-	[A11]

Fonte: o autor (2022)

Figura 17 – Procedimento de ponderação médio e ordenamento final das alternativas

Alternativas	Descending weighting	Ascending weighting	Intersection weighting	Final Ranking MP-MCDM
A1	0.6363636363636364	0.5454545454545454	1.1818181818181817	4
A2	0.5454545454545454	0.4545454545454546	1	5
A3	0.6363636363636364	0.0909090909090909	0.7272727272727273	8
A4	0.1818181818181817	0	0.1818181818181817	11
A5	0.7272727272727273	0.6363636363636364	1.3636363636363638	3
A6	0.4545454545454546	0.3636363636363636	0.8181818181818182	6
A7	0.3636363636363636	0.1818181818181817	0.5454545454545454	9
A8	0.2727272727272727	0.0909090909090909	0.3636363636363636	10
A9	0.5454545454545454	0.2727272727272727	0.8181818181818181	7
A10	0.8181818181818181	0.7272727272727273	1.5454545454545454	2
A11	0.9090909090909091	0.8181818181818181	1.727272727272727	1

Fonte: o autor (2022)

De modo geral, através destes resultados é possível analisar que, a priori, as alternativas preferíveis ao decisor, e assim deveriam ser priorizadas em relação às intervenções públicas e melhorias, são A11, A10 e A5, que ocupam as três primeiras posições do ordenamento final do modelo MUPOM.

Através desta aplicação, objetivou-se demonstrar o funcionamento do SAD, desde as interfaces, métodos de entrada, importação de dados e saída dos resultados do modelo decisório. De modo geral, o desenvolvimento do sistema através de interfaces simples permite com que usuário preencha os dados de entrada e realize as etapas do modelo de forma intuitiva. Em relação às saídas do SAD, os resultados são mostrados por meio de gráficos, tabelas de valores numéricos e cores de destaque, o que facilita a visualização, compreensão, e consequente interpretação dos resultados por parte do usuário.

Em suma, este SAD, permite com que decisões sejam melhor orientadas, advindas dos resultados obtidos no próprio sistema; por meio deles, órgãos responsáveis podem dedicar esforços aos trechos considerados mais críticos, buscando melhores direcionamento e utilização dos recursos disponíveis; ou seja, através deste estudo, os órgãos responsáveis pela segurança de trânsito podem diminuir o risco de acidentes em Pernambuco. Ademais, apesar deste estudo ter sido aplicado às rodovias federais pernambucanas, o sistema pode ser aplicado quaisquer outros estados, nacionais e internacionais, sendo necessário apenas a importação correta dos dados de entrada.

Por fim, o SAD foi desenvolvido em um formato de sistema que permite o compartilhamento, acesso remoto e registros de dados cadastrados completamente online com a utilização dos servidores em nuvem da plataforma Firebase. Isso permite uma maior dinamicidade e rapidez no processo de tomada de decisão, em que o sistema encarregasse de gerar as análises e resultados a partir da importação e definições de dados de registros das rodovias federais do local em estudo.

## 7 CONCLUSÕES

A princípio, de modo geral, o SAD proposto cumpre com o objetivo inicial, ao fornecer um sistema que possa auxiliar o processo de tomada de decisão relacionada à determinação de trechos críticos, fornecendo um ordenamento da criticidade dos mesmos. Além disso, o SAD mostra-se adaptativo às preferências do decisor, nesse caso os órgãos de segurança pública e agentes relacionados aos trechos de rodovias federais, isso porque, o sistema fornece métodos pré-estabelecidos que permitem ao usuário determinar aquele que mais se aproxima de suas necessidades e preferências, podendo também, defini-los empiricamente.

A utilização de uma abordagem multicritério e multiperíodo, oriunda do método MUPOM, mostrou-se apropriada ao problema deste estudo, dado que a criticidade dos trechos rodoviários são expressados segundo a combinação de diversos fatores (critérios), como também, é percebido uma variação dos critérios ao longo do tempo. Dessa forma, a dimensão tempo permite refletir as preferências do tomador de decisão quanto à importância que cada período de tempo possui para a análise da criticidade aos diversos trechos e critérios analisados.

No que se refere ao sistema, ele é considerado eficaz, visto que cumpre com o objetivo de ordenar os trechos, identificando, assim, as alternativas mais críticas dentro do conjunto. Adicionalmente, se mostra eficiente visto que leva poucos segundos para armazenar e processar a entrada. Consequentemente, é um sistema efetivo de acordo com a finalidade para o qual foi desenvolvido. Por fim, o desenvolvimento do sistema ser orientado ao usuário, ou seja, visando a usabilidade, acessibilidade e principalmente segurança dos dados dos usuários, permitiu a criação de um sistema simples e fácil utilização, podendo ser acesso de qualquer lugar que possua um navegador, sem a necessidade de instalação de programas complexos.

No tocante dos serviços utilizados no SAD desenvolvido, o sistema apresenta algumas limitações para versão gratuita, como: 50mil autenticações (cadastro e login) de usuários por mês; armazenamento total do banco de dados de 1GiB; e transferência de dados servidor-navegador de 360MB por dia. Sendo assim, segundo as limitações apresentadas, a utilização do SAD para o propósito de priorização dos trechos rodoviários mais críticos, por sua característica de apresentar uma quantidade grande de dados de armazenamento, certamente o sistema desenvolvido necessitará de adaptações futuras.

Sendo assim, dado a importância que os acidentes de trânsito possuem, principalmente no Brasil que possui uma extensa malha rodoviária e estatísticas de ocorrência de acidentes bastante expressivas, a utilização do SAD apresentado permite a redução do risco de acidentes,

já que dentro de um conjunto de trechos analisado, o SAD identifica os mais críticos através de um ordenamento formado por comparações entre eles, permitindo com que decisões possam ser melhores tomadas e recursos direcionados de uma forma mais efetiva.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. T. DE; COSTA, A. P. C. S. Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 201–214, ago. 2002.
- ANDRADE, S. M. DE et al. Comportamentos de risco para acidentes de trânsito: um inquérito entre estudantes de medicina na região sul do Brasil. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 49, n. 4, p. 439–444, 2003.
- BAO, Q. et al. Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation. **Knowledge-Based Systems**, v. 32, p. 84–90, ago. 2012.
- BEN AMOR, S.; MARTEL, J.-M. A new distance measure including the weak preference relation: Application to the multiple criteria aggregation procedure for mixed evaluations. **European Journal of Operational Research**, v. 237, n. 3, p. 1165–1169, set. 2014.
- BOUYSSOU, D.; VINCKE, P. Ranking Alternatives on the Basis of Preference Relations: A Progress Report with Special Emphasis on Outranking Relations. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 6, n. 2, p. 77–85, mar. 1997.
- CARDOSO, G. **Utilização de um Sistema de Informações Geográficas visando o Gerenciamento da Segurança Viária no Município de São José-SC**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- CHEN, Y.; LI, B. Dynamic multi-attribute decision making model based on triangular intuitionistic fuzzy numbers. **Scientia Iranica**, v. 18, n. 2, p. 268–274, abr. 2011.
- DART. **Math - 1.0**. Disponível em: <<https://api.dart.dev/stable/2.17.0/dart-math/dart-math-library.html>>.
- DE ALMEIDA, A. T. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. 1a Edição ed. São Paulo: Editora Atlas, 2013.
- DE ALMEIDA, A. T. et al. **Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**. Cham: Springer International Publishing, 2015. v. 231
- EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 60, n. 3, p. 306–325, dez. 1994.
- FANCELLO, G.; CARTA, M.; FADDA, P. Road intersections ranking for road safety improvement: Comparative analysis of multi-criteria decision making methods. **Transport Policy**, v. 80, p. 188–196, ago. 2019.
- FRINI, A.; BEN AMOR, S. MUPOM: A multi-criteria multi-period outranking method for decision-making in sustainable development context. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 76, p. 10–25, maio 2019.

GOOGLE. **Firestore Hosting Documentation**. Disponível em:  
<<https://firebase.google.com/docs/hosting>>.

GOOGLE. **Firestore Authentication Documentation**. Disponível em:  
<<https://firebase.google.com/docs/auth/>>.

GOOGLE. **Flutter Documentation**. Disponível em: <<https://docs.flutter.dev/>>.

GOOGLE. **Cloud Firestore Documentation**. Disponível em:  
<<https://firebase.google.com/docs/firestore>>.

IPEA. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Disponível em:  
<<https://www.ipea.gov.br/portal/>>.

LIN, Y.-H.; LEE, P.-C.; TING, H.-I. Dynamic multi-attribute decision making model with grey number evaluations. **Expert Systems with Applications**, v. 35, n. 4, p. 1638–1644, nov. 2008.

MARTINS, M. A. **Modelo de decisão para redução de risco de acidentes de trânsito nas rodovias federais de Pernambuco: desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2020.

MARTINS, M. A.; GARCEZ, T. V. **Análise descritiva dos acidentes nas rodovias federais de Pernambuco (2007-2015)**. XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...**Joinville/SC: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2017

MARTINS, M. A.; GARCEZ, T. V. A multidimensional and multi-period analysis of safety on roads. **Accident Analysis and Prevention**, 2021.

MENDONÇA, V. H. DE; GARCEZ, T. V. Sistema Unificado de Consulta e Análise da Acidentalidade em Rodovias Federais de Pernambuco (SUCAARF-PE). **Gestão org**, v. 18, n. 2, p. 184, 9 mar. 2021.

MICROSOFT. **Visual Studio Code Documentation**. Disponível em:  
<<https://code.visualstudio.com/docs>>.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Boston, MA: Springer US, 1996. v. 12

ROZESTRATEN, R.; DOTTA, Á. **Os Sinais de Trânsito e o Comportamento Seguro**. 2. ed. Porto Alegre: [s.n.].

RYDER, B. et al. Preventing traffic accidents with in-vehicle decision support systems - The impact of accident hotspot warnings on driver behaviour. **Decision Support Systems**, v. 99, p. 64–74, jul. 2017.

SINGH, K. **Excel 1.1.5**. Disponível em: <<https://github.com/justkawal/excel>>.

SPRAGUE, J.; WATSON, H. J. **Sistema de apoio à decisão: Colocando a teoria em prática**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

SYNCFUSION. **Syncfusion Flutter - 19.3.43**. Disponível em:  
<<https://github.com/syncfusion/flutter-examples>>.

WEI, G. Grey relational analysis model for dynamic hybrid multiple attribute decision making. **Knowledge-Based Systems**, v. 24, n. 5, p. 672–679, jul. 2011.

WHO. **Noncommunicable Diseases Country Profiles 2018**. [s.l: s.n.].

XU, Z. On multi-period multi-attribute decision making. **Knowledge-Based Systems**, v. 21, n. 2, p. 164–171, mar. 2008.

XU, Z.; YAGER, R. R. Dynamic intuitionistic fuzzy multi-attribute decision making. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 48, n. 1, p. 246–262, abr. 2008.