



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MATEUS ALVES MARTINS

**MODELO DE DECISÃO PARA REDUÇÃO DE RISCO DE ACIDENTES DE
TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS DE PERNAMBUCO: desenvolvimento
de um Sistema de Apoio à Decisão**

Caruaru

2020

MATEUS ALVES MARTINS

**MODELO DE DECISÃO PARA REDUÇÃO DE RISCO DE ACIDENTES DE
TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS DE PERNAMBUCO: desenvolvimento
de um Sistema de Apoio à Decisão**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e
Gestão da Produção

Orientador: Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez

Caruaru

2020

Catálogo na fonte:
Bibliotecário – Raul César de Melo - CRB/4 - 1735

M386m Martins, Mateus Alves.
Modelo de decisão para redução de risco de acidentes de trânsito nas rodovias federais de Pernambuco: desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão / Mateus Alves Martins. – 2020.
82 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Thalles Vitelli Garcez.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2020.
Inclui Referências.

1. Sistemas de suporte de decisão. 2. Acidentes de trânsito. 3. Processo decisório por critério múltiplo. 4. Rodovias - Pernambuco. I. Garcez, Thalles Vitelli (Orientador). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.) UFPE (CAA 2020-036)

MATEUS ALVES MARTINS

**MODELO DE DECISÃO PARA REDUÇÃO DE RISCO DE ACIDENTES DE
TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS DE PERNAMBUCO: desenvolvimento
de um Sistema de Apoio à Decisão**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 17 / 02 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Marcele Elisa Fontana (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Marcella Maia Bezerra de Araújo Urtiga (Examinador
Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo o carinho e apoio, não medindo esforços para que me dedicasse aos estudos. Dedico também ao meu irmão e minha namorada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo o suporte. Em especial aos meus pais, Antonio e Josélia, e ao meu irmão Lucas, que sempre estiveram presentes, me dando todo o apoio necessário.

A Maria por estar ao meu lado, ajudando sempre que necessário e compartilhando de todos os momentos, sejam eles felizes ou tristes.

Agradeço também ao meu orientador, Prof. Thalles Garcez, por todas as orientações e o suporte ao longo dos trabalhos. A todos os professores do PPGE-CAA, por todos os ensinamentos.

Aos meus amigos e colegas do mestrado e do CAA em geral, que tornaram o dia a dia na universidade mais leve e divertido.

Agradeço a FACEPE pelo apoio financeiro que propiciou o desenvolvimento desta pesquisa, assim como a CAPES.

RESUMO

Este trabalho desenvolve um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para auxiliar os interessados (órgão público, polícia rodoviária federal, departamento nacional de infraestrutura de trânsito, etc.) no ordenamento em criticidade de acidentes de trânsito dos trechos de rodovias federais. A identificação dos trechos de rodovias mais críticos permite com que os recursos, normalmente limitados e escassos, sejam melhores direcionados, de modo a ter maior impacto na redução do risco de acidentes de trânsito. Dado que a medida de criticidade dos acidentes de trânsito em rodovias envolve múltiplas dimensões, tais como número de ocorrências, severidade do acidente, características da via, etc.; este trabalho utiliza uma abordagem multicritério para considerar diferentes indicadores de segurança desenvolvidos no estudo. Adicionalmente, dada a dinamicidade desses indicadores de segurança na dimensão temporal, foi utilizada uma abordagem multiperíodo de modo a considerar a evolução dos indicadores ao longo do tempo, assim como refletir as preferências do tomador de decisão quanto à importância que cada período de tempo possui para a análise da criticidade. Sendo assim, além do desenvolvimento do SAD, este trabalho realiza a modelagem do problema a partir da construção de oito critérios, são eles: *i*) índice de acidentes; *ii*) índice de mortos; *iii*) índice de feridos graves; *iv*) índice de feridos leves; *v*) índice de ilesos (danos materiais e psicológicos); *vi*) qualidade do pavimento; *vii*) qualidade da sinalização; e, *viii*) qualidade da geometria da via. O uso em conjunto das duas abordagens multicritério e multiperíodo através do método MUPOM (*MU*lti-*cri*teria *mu*lti-*Per*iod *OU*tranking *M*ethod) se mostrou apropriada. Para demonstrar e validar o SAD proposto, um estudo de caso é desenvolvido, cujo objeto de estudo são os trechos das rodovias federais de Pernambuco. A fim de verificar a robustez do modelo e do impacto dos diferentes métodos de determinação dos pesos para os períodos implementados no SAD, é feita uma análise de sensibilidade sobre os resultados do estudo de caso. Como resultado, o SAD se mostra útil quanto a ordenação de criticidade dos trechos de rodovias, flexível por permitir que os parâmetros de entrada sejam alterados de forma fácil pelo tomador de decisão, além de fornecer modelos pré-definidos para estimação dos pesos temporais. Sendo assim, o SAD auxilia na primeira etapa do processo de redução de risco de acidentes de trânsito nas rodovias, para que, posteriormente, medidas preventivas e mitigadoras possam, então, ser tomadas para diminuição do risco de acidentes.

Palavras-chave: Sistema de Apoio à Decisão. Acidentes de trânsito. Decisão multicritério.

Avaliação multiperíodo. MUPOM. Rodovias federais.

ABSTRACT

This work develops a Decision Support System (DSS) to assist the interested parties (public agency, federal highway police, national traffic infrastructure department, etc.) in ordering the criticality of traffic accidents on federal highway stretches. The identification of the most critical road stretches allows resources, normally limited and scarce, to be better targeted, in order to have a greater impact in reducing the risk of traffic accidents. Given that the criticality measure of road traffic accidents involves multiple dimensions, such as number of occurrences, severity of the accident, characteristics of the road, etc.; this work uses a multicriteria approach to consider different safety indicators developed in the study. Additionally, given the dynamics of these safety indicators in the temporal dimension, a multiperiod approach was used in order to consider the evolution of the indicators over time, as well as to reflect the preferences of the decision maker regarding the importance that each period of time has for criticality analysis. Thus, in addition to the development of DSS, this work performs the modeling of the problem based on the construction of eight criteria, which are: *i*) index of accidents; *ii*) index of deaths; *iii*) index of serious injuries; *iv*) index of minor injuries; *v*) index of unscathed (material and psychological damage); *vi*) quality of the pavement; *vii*) quality of signaling; and, *viii*) quality of the track geometry. The joint use of the two multicriteria and multiperiod approaches using the MUPOM method (MULTi-criteria multi-Period Outranking Method) proved to be appropriate. To demonstrate and validate the proposed DSS, a case study is developed, whose object of study is the stretches of the federal highways of Pernambuco. In order to verify the robustness of the model and the impact of the different methods of determining weights for the periods implemented in the DSS, a sensitivity analysis is made on the results of the case study. As a result, the DSS proves useful in terms of the criticality ordering of the road sections, flexible in that it allows the input parameters to be easily changed by the decision maker, in addition to providing pre-defined models for estimating time weights. Thus, the DSS assists in the first stage of the process of reducing the risk of traffic accidents on highways, so that, subsequently, preventive and mitigating measures can then be taken to reduce the risk of accidents.

Keywords: Decision Support System. Traffic-accidents. Multicriteria decision. Multiperiod evaluation. MUPOM. Federal roads.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Etapas do estudo	18
Figura 2 –	Indicadores de desempenho de segurança rodoviária relacionados aos fatores humanos, do veículo e ambientais encontrados na literatura	30
Figura 3 –	Indicadores de desempenho de segurança rodoviária relacionados aos fatores de gestão e da via encontrados na literatura	31
Figura 4 –	Indicadores de desempenho de segurança rodoviária relacionados aos fatores de risco pessoal e de tráfego encontrados na literatura	32
Figura 5 –	Framework do problema	38
Figura 6 –	Critérios utilizados no estudo	41
Figura 7 –	Modelagem do SAD	44
Figura 8 –	Tela: entrada de dados	45
Figura 9 –	Tela: Peso dos critérios e limiares de concordância e discordância	45
Figura 10 –	Tela: peso dos períodos	46
Gráfico 1 –	Estado físico e número de ocorrências por ano.....	48
Gráfico 2 –	Número absoluto de ilesos (esquerda) e o Índice de ilesos Ij no trecho por ano (direita)	51
Gráfico 3 –	Número absoluto de feridos leves (esquerda) e o Índice de feridos leves Lj no trecho por ano (direita).....	51
Gráfico 4 –	Número absoluto de feridos graves (esquerda) e o Índice de feridos graves Gj no trecho por ano (direita)	52
Gráfico 5 –	Número absoluto de mortos (Esquerda) e o Índice de mortos Mj no trecho por ano (direita)	52
Gráfico 6 –	Número absoluto de acidentes (Esquerda) e o Índice de acidentes Nj no trecho por ano (direita)	52
Figura 11 –	SAD: dados das onze alternativas analisadas (Pernambuco)	55
Figura 12 –	Pesos e limiares definidos pelo decisor (Pernambuco)	56

Figura 13 –	Peso dos períodos definidos pelo decisor (Pernambuco)	56
Gráfico 7 –	Gráfico dos pesos dos períodos	57
Figura 14 –	Ranking final das alternativas (Pernambuco).....,.....	58
Figura 15 –	Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking (MUPOM)	58
Figura 16 –	Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T1	59
Figura 17 –	Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T2	59
Figura 18 –	Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T3	59
Figura 19 –	Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T4	59
Figura 20 –	Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T5	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Significado das variáveis	22
Tabela 2 –	Valores numéricos das distâncias entre as relações binárias de preferência	22
Tabela 3 –	Conjuntos do MUPOM	23
Tabela 4 –	Revisão da literatura sobre multiperíodo	34
Tabela 5 –	Métodos de definição de pesos para os períodos	42
Tabela 6 –	Lista de alternativas (trechos)	49
Tabela 7 –	Matriz de desempenho das alternativas referente ao critério Pavimento	54
Tabela 8 –	Matriz de desempenho das alternativas referente ao critério Sinalização	54
Tabela 9 –	Matriz de desempenho das alternativas referente ao critério Geometria	54
Tabela 10 –	Comparação dos resultados para diferentes métodos de estimação dos pesos para os períodos	62
Tabela 11 –	Resultado da análise de sensibilidade para as alternativas A5, A6, A8 e A9	65
Tabela 12 –	Resultado para variação de até 1%	79
Tabela 13 –	Resultado para variação de até 5%	79
Tabela 14 –	Resultado para variação de até 10%	80
Tabela 15 –	Resultado para variação de até 15%	80
Tabela 16 –	Resultado para variação de até 20%	80
Tabela 17 –	Resultado para variação de até 25%	81
Tabela 18 –	Resultado para variação de até 30%	81
Tabela 19 –	Resultado para variação de até 35%	81
Tabela 20 –	Resultado para variação de até 40%	82
Tabela 21 –	Resultado para variação de até 45%	82
Tabela 22 –	Resultado para variação de até 50%	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	15
1.3	Estrutura	15
2	METODOLOGIA	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	Decisão Multicritério	19
3.2	MUPOM	20
3.3	Sistema de Apoio a Decisão (SAD)	23
4	REVISÃO DA LITERATURA	25
4.1	Acidentes rodoviários	25
4.2	Abordagem Multicritério em acidentes de trânsito	27
4.3	Decisão Multicritério e Multiperíodo	32
4.4	SAD em acidentes de trânsito	34
5	SISTEMA DE APOIO A DECISÃO (SAD)	36
5.1	Modelagem do problema	36
5.1.1	Indicadores de desempenho de segurança rodoviária (critérios)	38
5.1.2	Definição dos pesos dos múltiplos períodos	42
5.2	Modelagem e desenvolvimento do SAD	43
6	ESTUDO DE CASO	48
6.1	Análise descritiva	48
6.2	Aplicação do SAD em Pernambuco	55
6.3	Análise de sensibilidade	61
6.3.1	Análise de sensibilidade da característica multiperíodo	61
6.3.2	Análise de sensibilidade da influência dos parâmetros de preferência sobre o resultado	63

7	CONCLUSÕES	67
7.1	Contribuições	67
7.2	Limitações e trabalhos futuros	68
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICE A – INDICADORES DE SEGURANÇA RODOVIÁRIA UTILIZADOS NA LITERATURA COMO CRITÉRIOS	75
	APÊNDICE B – COEFICIENTE DE CONCORDÂNCIA DE RANK (KENDALL W)	78
	APÊNDICE C – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	79

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2018a), do inglês *World Health Organization* (WHO), cerca de 1,35 milhões de pessoas morrem por ano vítimas de acidentes de trânsito, sendo que 93% das mortes ocorrem em países de renda baixa ou média. Além disso, entre 20 a 50 milhões de pessoas, apesar de não sofrerem ferimentos fatais, ficam com alguma seqüela, física ou psicológica. Adicionado às perdas irreparáveis de vidas humanas, às seqüelas e traumas da vítima e ao impacto imensurável nas famílias afetadas e nas comunidades em que os envolvidos vivem, os acidentes de trânsito representam altos custos monetários para toda a sociedade, os custos sociais e econômicos, que representam 3% do produto interno bruto (PIB) (WHO, 2018a).

Em 2015, mortes por ferimento na estrada estava na décima posição no ranking mundial de causas de mortes, com 1,3 milhões de óbitos. Já em 2016, subiu duas posições, tornando-se a oitava principal causa de mortes, totalizando 1,4 milhões de mortes (2,5% do total de óbitos), ao mesmo tempo que é a principal causa de morte entre os jovens de 15 a 29 anos (WHO, 2018b). Em contrapartida, quando considerado apenas os países de alta renda, mortes no trânsito não estão entre as dez principais causas de morte, reforçando, assim sua gravidade principalmente em países de baixa e média renda (WHO, 2018b). Como resultado, tem-se que a segurança no trânsito é uma grande oportunidade para salvar vidas em todo o mundo, porém, não recebe a atenção devida dos formadores de políticas públicas (WHO, 2018c).

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 38.651 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, 2018c).

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). Massaú e Rosa (2016) ressaltaram os custos e despesas em acidentes de trânsito no Brasil, colocando que as despesas

destinadas ao atendimento e tratamento das vítimas das ocorrências como um agravante para a garantia do direito à saúde.

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT), durante os anos 2007-2012, cerca de 800 mil acidentes de trânsito aconteceram nas rodovias federais do Brasil (CNT, 2013). Durante análise do mesmo período (2007-2012), constatou-se que o estado de Pernambuco foi responsável por 38.973 acidentes rodoviários, uma média de aproximadamente 6.496 por ano, cerca de 18 acidentes a cada dia (MARTINS; GARCEZ, 2017).

1.1 Justificativa

Intervir no sistema viário e realizar melhorias nas vias, de modo a diminuir o número de mortes e vítimas feridas, reduzindo os danos e perdas dos acidentes, é um grande desafio da gestão e engenharia de transportes. Estudar os locais mais críticos é um meio apropriado para que se possa estabelecer uma política de melhoramento dos níveis de segurança nas rodovias, permitindo uma priorização dos trechos críticos. Adicionado a isso, trabalhos sobre o assunto servem como referência para a reestruturação e atualização das especificações e normas de projetos de segurança e engenharia rodoviária (DNIT; UFSC, 2009).

Além disso, vale ressaltar que os recursos disponíveis são limitados, logo não é possível investir em todos os trechos simultaneamente, sendo, então, necessário um direcionamento para priorização dos trechos mais críticos, de tal modo que as ações tomadas tenham um maior impacto (FANCELLO; CARTA; FADDA, 2019).

Porém, destaca-se a dificuldade e importância de definir-se uma metodologia, ou plano de ação, que permita a identificação dos principais trechos rodoviários que apresentem problemas de segurança (DNIT; UFSC, 2009). Adicionado a isso, são vários os fatores que interferem na segurança no trânsito, implicando em uma característica multiobjectivo ao problema (BAO et al., 2012).

Além disso, por se tratar de um problema multidimensional, é recorrente a utilização de uma abordagem multicritério para tratar a problemática (DE ALMEIDA et al., 2015). Entretanto, este trabalho se diferencia dos demais por utilizar de um modelo multicritério e multiperíodo, adicionando, assim, uma nova abordagem para a literatura do problema em específico.

Sendo assim, dada a relevância da problemática de acidentes de trânsito e a importância da identificação de locais e trechos críticos para que sejam realizadas as intervenções, sendo este o primeiro passo para que possa ser reduzido o risco de acidentes, aliado a multidimensionalidade do problema, este trabalho se justifica através da criação de um Sistema

de Apoio a Decisão (SAD) que auxilie na identificação dos trechos mais críticos a partir de uma abordagem multicritério e multiperíodo, permitindo com que decisões possam ser tomadas de forma mais efetiva.

1.2 Objetivos

Este estudo tem como objetivo geral o desenvolvimento de 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 de interessados para a minimização dos riscos de acidentes de trânsito. Além disso, trechos de rodovias federais situadas em Pernambuco foram utilizadas como objeto de estudo para mostrar a aplicabilidade do SAD.

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

- Oferecer um embasamento conceitual e referencial acerca da acidentalidade de trânsito nas rodovias;
- Identificar na literatura e propor método multicritério e multiperíodo mais apropriado ao problema para servir como base para o modelo implementado no SAD;
- Identificar através da literatura, estruturar e propor indicadores de desempenho de segurança rodoviária relevantes ao tema;
- Estruturar a problemática e o sistema de apoio a decisão (SAD) para a ordenação do trechos de rodovias em hierarquia de criticidade de acidentes de trânsitos objetivando a minimização do risco de acidentes nas rodovias;
- Aplicar e validar o SAD proposto a partir da utilização dos dados dos acidentes rodoviários de Pernambuco e verificar a robustez do modelo através da análise de sensibilidade dos resultados obtidos;
- Analisar os resultados do estudo de caso, evidenciando oportunidades e dificuldades, e as contribuições do trabalho.

1.3 Estrutura

A estrutura do presente trabalho apresentado está organizada em sete capítulos. Essa estrutura foi definida com o intuito de promover uma melhor compreensão do estudo, desde a introdução ao tema até a aplicação e conclusão do SAD desenvolvido.

No primeiro capítulo é apresentada uma introdução, contextualizando a problemática, juntamente com o estabelecimento dos objetivos do trabalho e sua justificativa.

Posteriormente, o capítulo dois apresenta a metodologia utilizada no trabalho, mostrando a natureza da pesquisa, os métodos e procedimentos utilizados.

Já o terceiro capítulo denota os conceitos dos métodos utilizados, conhecimento esse advindo principalmente da bibliografia estudada para a produção deste trabalho, formando assim a fundamentação teórica.

No quarto capítulo é mostrada a revisão da literatura. Nela são expostas as publicações científicas mais atuais relevantes ao tema e aos métodos, ou seja, o que e como a comunidade científica tem estudado.

É então evidenciado a modelagem do problema e do SAD no capítulo cinco. Posteriormente, no capítulo seis, é realizado uma aplicação do SAD no contexto de Pernambuco, utilizando trechos reais para um estudo de caso e posterior análise de sensibilidade dos resultados.

E por fim, é realizada a conclusão destacando os principais pontos e importância do estudo, assim como possíveis trabalhos futuros (capítulo 7).

2 METODOLOGIA

Este trabalho é caracterizado por ter uma metodologia descritiva e exploratória. Descritiva pois descreve os dados utilizados sobre acidentes de trânsito no estado de Pernambuco e exploratório visto que realiza uma revisão da literatura sobre os temas abordados, além de apresentar um estudo de caso e oferecer informações sobre o objeto de estudo. Posteriormente, tem-se a etapa de modelagem da problemática em estudo: ordenamento em criticidade de acidentes de trânsito dos trechos de rodovias federais.

O procedimento utilizado consiste de uma abordagem indireta; onde a pesquisa documental foi baseada em arquivos públicos disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) na *internet*, coletando e filtrando os dados a serem utilizados neste estudo do banco fornecido. A pesquisa bibliográfica se deu por meio de artigos de periódicos e livros, abordando os seguintes temas: acidentes rodoviários, decisão multicritério e multiperíodo, decisão multicritério aplicada a acidentes de trânsito, SAD e uso do mesmo para tratar a problemática de acidentes de trânsito.

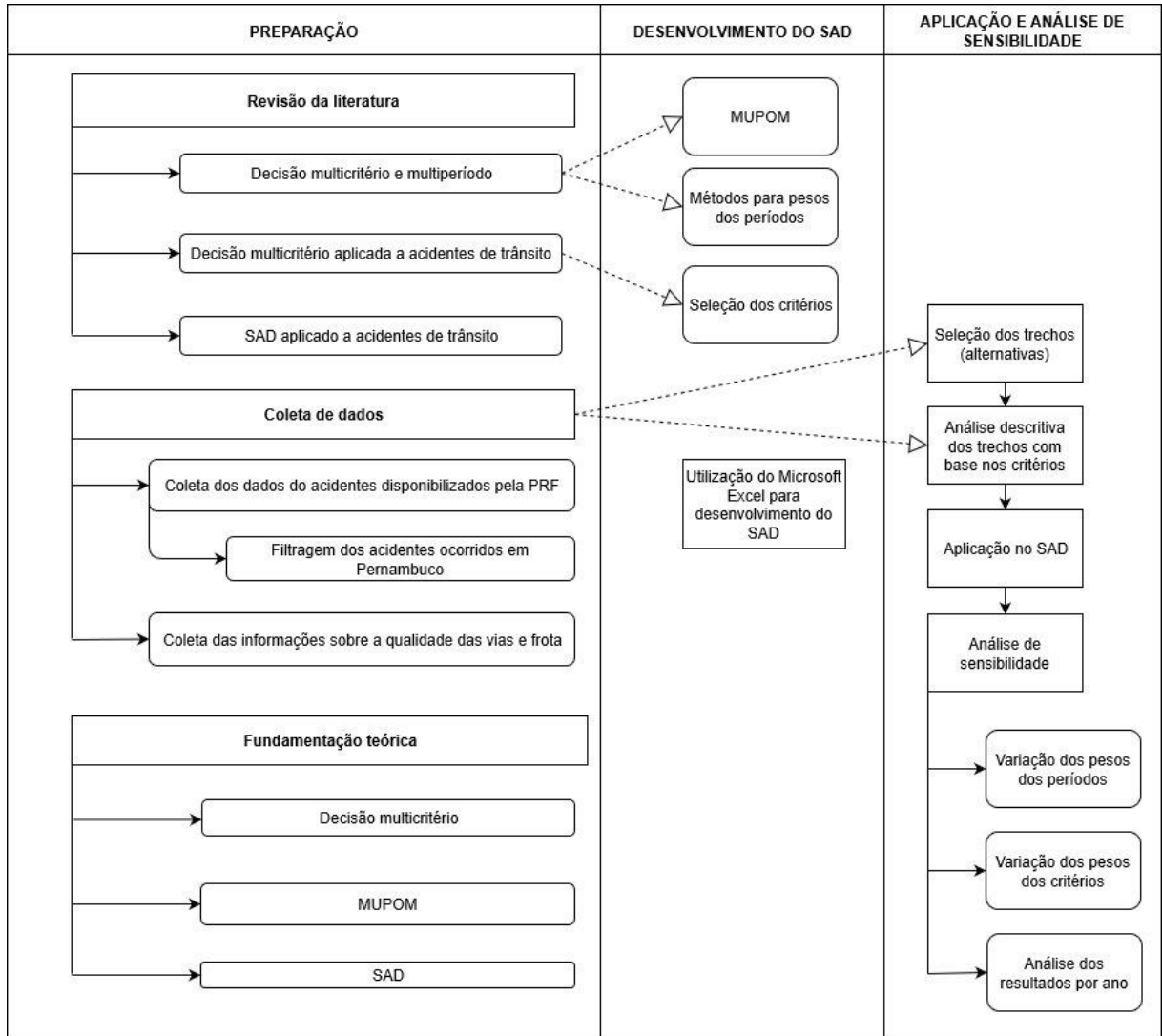
De forma resumida, foram realizadas as seguintes etapas para construção do estudo: revisão da literatura, fundamentação teórica, coleta de dados, desenvolvimento do SAD, análise descritiva dos dados, aplicação do SAD e análise de sensibilidade. Sendo respectivamente realizadas nessa mesma ordem.

As etapas e as subdivisões podem ser verificadas na Figura 1. A partir da revisão sobre decisão multicritério e período foi identificado o *Multicriteria Multi-Period Outranking Method* (MUPOM) e métodos para estabelecimento dos pesos dos períodos, os quais integraram o SAD. Além disso, por meio dos artigos referentes a decisão multicritério relacionados a acidentes de trânsito, foram extraídos os critérios utilizados.

Da coleta de dados foram selecionados os dados que serviram como *input* para o estudo de caso. A aplicação do SAD é feita conjuntamente com a análise de sensibilidade, que é dividida em duas etapas. Na primeira parte foram gerados resultados para cada método de definição dos pesos dos períodos, os quais foram comparados através do coeficiente de concordância de *rank* (Kendall W), que consiste em uma estatística não paramétrica para ordem baseado em medida de correlação para avaliar a concordância entre dois ordenamentos (MAROZZI, 2014). Já na segunda etapa, foi utilizado simulação de Monte Carlo, onde foram realizadas 10.000 iterações para cada intervalo de variação, sendo modificados os pesos dos períodos, pesos dos critérios.

Já na fundamentação teórica, foram abordados os conceitos de decisão multicritério, do MUPOM e uma visão geral sobre SAD.

Figura 1 - Etapas do estudo



Fonte: o autor (2020)

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção remete a fundamentação teórica a qual aborda os seguintes assuntos: decisão multicritério, SAD e MUPOM.

3.1 Decisão Multicritério

Os métodos de apoio à tomada de decisão multicritério (do inglês, *Multiple Criteria Decision Making* – MCDM) avaliam um determinado conjunto de alternativas baseados em diferentes critérios, considerando as preferências do decisor, com o intuito de auxiliar o processo de decisão (DE ALMEIDA, 2013).

Problemas de decisão multicritério consistem em problemas nos quais um decisor precisa avaliar múltiplos objetivos de forma integrada; onde os objetivos são representados por variáveis que podem estar em unidades de medida diferentes (DE ALMEIDA et al., 2015).

Para se ter um problema de decisão é necessário a existência de um conjunto de alternativas (pelo menos duas) para que o decisor possa realizar uma comparação e ter uma posição sobre elas. O conjunto de alternativas pode ser contínuo ou discreto (DE ALMEIDA, 2013); neste trabalho é considerado um conjunto de alternativas discreto, 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.

A posição que o decisor toma diante da alternativa refere-se a uma avaliação baseada em uma das problemáticas. Essas problemáticas são uma forma de classificar o tipo de problema de decisão a partir da posição comparativa sobre o conjunto de alternativas. Existem cinco tipos de problemática (BELTON; STEWART, 2002; ROY, 1996):

- Problemática $P.\alpha$ – Problemática de escolha: objetiva esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto do espaço de ações;
- Problemática $P.\beta$ – Problemática de classificação: objetiva alocar cada ação a uma classe;
- Problemática $P.\gamma$ – Problemática de ordenação: objetiva ordenar as ações;
- Problemática $P.\delta$ – Problemática de descrição: objetiva apoiar a decisão pela descrição das ações e de suas consequências;
- Problemática de portfólio: objetiva escolher um subconjunto de alternativas que atenda aos objetivos, sob determinadas condições.

As alternativas são avaliadas de acordo com suas consequências; onde o decisor escolhe a consequência que deseja obter; ou seja, busca-se a alternativa com consequência mais

desejável para o decisor. Como um problema multicritério envolve vários objetivos, haverá uma consequência para cada objetivo considerado (ROY, 1996).

Em um MCDA, as alternativas são avaliadas em uma matriz de consequência. A matriz de consequência é representada na forma dos valores obtidos para cada consequência em uma matriz de decisão através da avaliação intra-critério, a qual consiste na avaliação de cada alternativa para cada critério, levando à função valor. De posse da função valor, é possível realizar a avaliação inter-critério; avaliação essa que considera a combinação dos diferentes critérios, permitindo a comparação entre as alternativas (DE ALMEIDA, 2013).

Além disso, destaca-se que os problemas de MCDA 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). Outro conceito importante é o de dominância, através do qual uma alternativa é considerada dominada se em todos os critérios ela possuir desempenho menor ou igual a uma outra alternativa, sendo esta estritamente melhor em pelo menos um deles.

Em suma, o presente estudo faz uso da abordagem de sobreclassificação, utilizando assim uma racionalidade não-compensatória. Ou seja, para o decisor não existe *trade-offs* entre os critérios. Ademais, trata-se de uma problemática de ordenação, já que tem como finalidade ordenar os trechos de acordo com a criticidade dos mesmos comparados aos outros.

3.2 MUPOM

O método MCDM adotado neste estudo, é método proposto por Frini e Ben Amor (2019), o MUPOM (*Multicriteria Multi-Period Outranking Method*), que consiste em um método de tomada de decisão multicritério, sendo classificado como um método de sobreclassificação baseado nos princípios da família ELECTRE, que usa índices de concordância e discordância e credibilidade, para uma configuração multiperíodo. Portanto, esse método considera os diversos cenários ao longo dos períodos de tempo atendendo as relações de preferências e ordens parciais.

Segundo Frini e Ben Amor (2019), o MUPOM está estruturado em quatro fases: *i*) agregação multicritério; *ii*) agregação temporal; *iii*) exploração e *iv*) acompanhamento. Começa-se com a agregação dos critérios de decisão, em cada período do horizonte de tempo, com base em comparações par-a-par e princípios de concordância e discordância.

Os limiares de concordância considerados são três, na qual $c_1 > c_2 > c_3$, e dois de discordância, na qual $dj_2 > dj_1$, para cada critério j . As fórmulas utilizadas nesta primeira

etapa do modelo são dadas pelas Equação (1) a (6) e as variáveis utilizadas nas formulações são descritas na Tabela 1.

Primeiro calcula-se a diferença de desempenho (Δ) entre uma alternativa i para uma alternativa k dentro de um critério j (Equação (1)).

$$\Delta = g_j(a_i) - g_j(a_k) \quad (1)$$

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 Equação (2) e (3).

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

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

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

$$a_i S_F a_k \text{ se } \left(\frac{\sum_{j: g_j(a_i) > g_j(a_k)} \pi_j}{\sum_{j: g_j(a_i) < g_j(a_k)} \pi_j} \right) > 1 \& \begin{cases} C^t(a_i, a_k) \geq c_1 \\ e \\ D_j^t(a_i, a_k) \leq d_j(2) \text{ para todo } j \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{ou se } \left(\frac{\sum_{j: g_j(a_i) > g_j(a_k)} \pi_j}{\sum_{j: g_j(a_i) < g_j(a_k)} \pi_j} \right) > 1 \& \begin{cases} C^t(a_i, a_k) \geq c_2 \\ e \\ D_j^t(a_i, a_k) \leq d_j(1) \text{ para todo } j \end{cases}$$

$$a_i S_f a_k \text{ se } \left(\frac{\sum_{j: g_j(a_i) > g_j(a_k)} \pi_j}{\sum_{j: g_j(a_i) < g_j(a_k)} \pi_j} \right) > 1 \& \begin{cases} C^t(a_i, a_k) \geq c_3 \\ e \\ D_j^t(a_i, a_k) \leq d_j(2) \text{ para todo } j \end{cases} \quad (5)$$

$$R^t(a_i, a_k) = P \text{ se } (a_i S_F a_k) \text{ e } \begin{cases} \text{N\~{a}o } (a_k S_F a_i) \\ \text{N\~{a}o } (a_k S_f a_i) \end{cases}$$

$$R^t(a_i, a_k) = Q \text{ se } (a_i S_F a_k) \text{ e } (a_k S_f a_i) \text{ ou } (a_i S_f a_k) \text{ e } \begin{cases} \text{N\~{a}o } (a_k S_F a_i) \\ \text{N\~{a}o } (a_k S_f a_i) \end{cases} \quad (6)$$

$$R^t(a_i, a_k) = I \text{ se } (a_i S_f a_k) \text{ e } (a_k S_f a_i)$$

$$R^t(a_i, a_k) = R \text{ se N\~{a}o}(a_i S_F a_k) \text{ e } (a_k S_f a_i) \text{ e N\~{a}o } (a_k S_F a_i) \text{ e N\~{a}o } (a_i S_f a_k) \text{ e N\~{a}o } (a_k S_f a_i)$$

Tabela 1 - Significado das variáveis

Variável	Significado
Δ	Diferença de desempenho de uma alternativa i para uma alternativa k dentro de um critério j
$g_j(a_i)$	Desempenho da alternativa i no critério j
$C^t(a_i, a_k)$	Índice de concordância da alternativa i comparada com a alternativa k no período t
π_j	Peso do critério j
$D_j^t(a_i, a_k)$	Índice de discordância da alternativa i comparada com a alternativa k dentro do critério j
S_F	Sobreclassificação forte
S_f	Sobreclassificação fraca
$R^t(a_i, a_k)$	Relação de preferência da alternativa i comparada com a alternativa k
P	Preferência estrita
Q	Preferência fraca
I	Indiferença
R	Incomparabilidade

Fonte: adaptado de Frini e Ben Amor (2019)

Portanto, para cada par de alternativas (no presente estudo representado pelos trechos da rodovias na qual houve os acidentes de trânsito), 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 2.

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 2 - 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: Adaptada de BenAmor e Martel (2014)

Na terceira etapa do MUPOM são determinados os conjuntos mostrados na Tabela 3. A partir desses conjuntos é calculado o índice $\Pi(a_i)$ de modo a avaliar o desempenho de a_i dado por: $\Pi(a_i) = \text{card}(\Psi^{++}(a_i)) - \text{card}(\Psi^{--}(a_i)) + 0,5\text{card}(\Psi^{+}(a_i)) - 0,5\text{card}(\Psi^{-}(a_i))$. Caso $\text{card}(\Psi^{-}(a_i)) = 0$, a medida de performance é dada pelo valor expresso por $\hat{\Pi}(a_i) = \Pi(a_i)$, caso não, $\hat{\Pi}(a_i) = \Pi(a_i) + \sum_{a_k \in \Psi^{-}(a_i)} \Pi(a_k) / \text{card}(\Psi^{-}(a_i))$.

Depois, com base no cálculo de desempenho de cada alternativa e nas relações de incomparabilidade, o subconjunto das “melhores alternativas” pode ser construído. Para mais informações sobre o MUPOM recomenda-se a leitura do estudo de Frini e Ben Amor (2019).

Tabela 3 – Conjuntos do MUPOM

Conjunto	Significado
$\Psi^{++}(a_i)$	Conjunto de alternativas para os quais a alternativa a_i possui uma preferência estrita
$\Psi^{-}(a_i)$	Conjunto de alternativas para os quais a alternativa a_i sofre uma preferência estrita
$\Psi^{+}(a_i)$	Conjunto de alternativas para os quais a alternativa a_i possui uma preferência fraca
$\Psi^{-}(a_i)$	Conjunto de alternativas para os quais a alternativa a_i sofre uma preferência fraca
N^{isol}	Conjunto de alternativas incomparáveis
$\Psi^{-}(a_i)$	Conjunto de alternativas para os quais a alternativa a_i é indiferente

Fonte: adaptado de Frini e Ben Amor (2019)

Vale ressaltar que neste estudo, na Equação (6) é acrescentado uma restrição para que alternativas dominadoras sejam preferidas fortemente às alternativas dominadas. Isso se deve porque as alternativas dominadas não foram previamente eliminadas, já que, além dos critérios utilizados, existem outros critérios mais subjetivos que podem fazer com que o decisor escolha uma dessas alternativas. Por exemplo, o baixo custo e facilidade de implantação de medidas que fariam a criticidade no trecho diminuir; além disso, devido a considerar vários períodos pode ser que uma alternativa não seja dominada quando considerado novos períodos de tempo.

3.3 Sistema de Apoio a Decisão (SAD)

Dentro do conceito de SAD existem elementos importantes que compõem o mesmo, são eles: dados, informação, modelos e interface usuários. De Almeida e Ramos (2002) afirmam que os dados são fatos sobre um objeto ou conceito; por outro lado, informação são dados que foram organizados, refinados e se apresentam de uma forma tal que podem ser usados para facilitar o processo de tomada de decisão presente ou futura, dando assim um significado para os dados. Apesar disso, ainda nesta mesma linha de considerações, Stair et al. (2011) aponta que dados são fatos crus e, quando são organizados de tal maneira que passam a ter significado, eles se tornam informação. Informação é definida como “conjunto de fatos organizados de tal maneira que possuem valor adicional, além do valor dos fatos individuais” e essa transformação é realizada por um processo, o qual consiste em um conjunto de tarefas realizadas para alcançar um resultado definido. Dentro deste processo está presente o banco de modelos, responsável por essa transformação.

Ressalta-se que para as informações serem realmente úteis, é necessário conhecimento, que representa a consciência e a compreensão de um conjunto de informações e os modos como essas informações podem ser úteis de modo a apoiar uma tarefa específica ou para chegar a uma decisão (STAIR; REYNOLDS; DA SILVA, 2011). Sendo que, apenas as pessoas através de sua interpretação possuem a capacidade de transformar um dado em informação e obter conhecimento a partir dela (MATTOS, 2005).

Já o sistema são um conglomerado de elementos que interagem para alcançar objetivos, os elementos e os relacionamentos entre eles determinam o funcionamento do sistema, o qual possuem entradas, mecanismos de processamento, saídas e realimentação. A entrada e saída estão diretamente ligadas a interface de usuário, a qual permite que os decisores manipulem e acessem facilmente o sistema (STAIR; REYNOLDS; DA SILVA, 2011).

De modo geral, um SAD consiste em um tipo de Sistema de Informação (SI) útil para dar suporte a um decisor (DE ALMEIDA; RAMOS, 2002). Especificamente, ele consiste um conjunto organizado de pessoas, procedimentos, *softwares*, banco de dados e equipamentos os quais transformam dados em informações a serem utilizadas para apoiar as tomadas de decisão em relação a um problema específico (STAIR; REYNOLDS; DA SILVA, 2011). Isto é, a saída de um SAD está associada a uma decisão (DE ALMEIDA; RAMOS, 2002).

Para o desenvolvimento de um SAD é necessário entender que existem três tecnologias básicas: SAD específico, gerador de SAD e Ferramenta SAD; neste trabalho será utilizada a tecnologia de gerador de SAD, que conforme de Almeida e Ramos (2002), “usa uma combinação de *hardware* e *software* para desenvolver um SAD específico”, sendo um bom exemplo as planilhas eletrônicas, de fácil entendimento e manipulação, que permitem a elaboração de macros para aplicações específicas, e como aponta o autor, a linguagem de programação *Visual Basic* é um exemplo de ferramenta utilizada para desenvolver um SAD.

4 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção são abordados os artigos relacionados ao tema, começando com uma breve apresentação da literatura sobre acidentes de trânsito de modo geral, depois são evidenciados trabalhos que utilizam da abordagem multicritério em acidentes de trânsito e, por fim, mostra-se os estudos que utilizam de SAD para auxiliar na mesma problemática.

4.1 Acidentes rodoviários

Dada à importância da problemática, sendo considerado um problema de saúde pública, a atenção dada pela comunidade científica para acidentes de trânsito é grande. No cenário internacional, pode-se citar a pesquisa de George et al. (2017) que investigaram a gravidade de acidentes rodoviários ocorridos na Grécia por tipo de veículo através de uma regressão lognormal. Este estudo mostra que acidentes que ocorrem com boas condições climáticas e ocorrências durante a noite estão associados a acidentes mais graves, além de que a gravidade do tipo de acidente é diferente de acordo com o tipo de veículo, sendo os motociclistas os que possuem maior vulnerabilidade no trânsito.

Adicionalmente, Másilková (2017), através de uma análise de documentos na República Checa, comenta que os principais afetados pelos os acidentes são os que estão diretamente ligados às ocorrências (os acidentados) e a sua família, além da consequência para saúde, seja física ou psicológica dos acidentados, esses sinistros muitas vezes levam a lesões que incapacitam as vítimas, causando impactos em toda sua esfera social. Visto que, a vítima pode perder o emprego, passar por dificuldades financeiras e perda de amenidade, afetando assim também os mais próximos da vítima.

Já no que se refere ao cenário nacional, Bôas e Silva (2015), através de um levantamento literário e descritivo de pesquisas relacionadas a acidentes de trânsito no Brasil, aponta que existe um baixo número de publicações científicas voltadas para a problemática de acidentes de trânsito, além de não possuir trabalhos que utilizassem da interdisciplinaridade para primar por soluções multidisciplinares às questões do trânsito. No mesmo artigo, os autores verificam uma relação forte entre o trânsito e a segurança pública, como também são constatados graves impactos e consequências de acidentes e violências no trânsito nos setores econômico, social e político de amplas e mínimas visibilidades.

Santos *et al.* (2016) analisa os acidentes de trânsito envolvendo óbitos de idosos. Como resultados tem-se que 57,3% dos mortos foram pedestres, 49,6% morreram no próprio local do acidente, e a maior causa foi o poli traumatismo. Foi constatado que a maior parte dos óbitos estão na área urbana, com aglomerado de bairros com alta ocorrência de acidente.

Com um objetivo diferente, Dias *et al.* (2016) realizam um mapeamento no trecho da rodovia SP-270 (Raposos Tavares) dos quilômetros 493 a 592, do período de 2007 a 2013, de trechos rodoviários críticos, descobrindo que 30% do trecho é responsável por 70% das ocorrências; sendo assim, a identificação de trechos críticos facilita o processo de tomada de decisão, a partir da priorização dos trechos mais críticos.

Já sobre a distribuição de acidentes no ano, Batistão, Flores e Silva (2017) analisam as ocorrências nas rodovias estaduais do oeste paulista, apontando uma maior quantidade de acidentes nos meses de férias escolares e no período da noite em cinco dos municípios da região estudada.

Por outro lado, no que diz respeito a influência da qualidade da malha rodoviária brasileira sobre os acidentes de trânsito, Silva, Menezes e Neder (2016) verificam que a premissa da falta de uma boa infraestrutura rodoviária aumenta o número de acidentes é falsa, visto que em rodovias com melhor qualidade, os condutores dedicam uma menor atenção ao trânsito, além de aumentar a velocidade e o fluxo médio de veículos. A partir desse resultado, foi recomendado que o foco dos investimentos seja na sinalização e campanhas de educação no trânsito, para se ter um melhor proveito de uma boa malha rodoviária.

Cabe citar também o estudo de Carvalho (2016), que a partir de uma análise do sistema de informação do Ministério da Saúde constata que: motociclistas apresentaram as maiores taxa de crescimento de vítimas; a região Nordeste possui uma das maiores taxas de crescimento de mortes aliado a uma alta taxa de crescimento da frota de veículos, além de colocar como importante a priorização de sistemas de gestão e fiscalização do trânsito, identificação dos pontos críticos e redução da velocidade de tráfego.

Já quando delimitado para estudos específicos para o estado de Pernambuco, tem-se o estudo de Jardim *et al.* (2017), que analisa os acidentes de trânsito ocasionados por animais nas rodovias federais do estado de Pernambuco nos anos de 2012 a 2014, que têm como principais resultados que: a maioria dos acidentes são ocasionados por automóveis (46,9%), ocorrem na BR 232 (37,5%), em pista simples (72,8%), fase de plena noite (65,7%), e no perímetro rural (72,2%).

Já Silva *et al.* (2011) realizaram um estudo espacial da mortalidade por acidentes de motocicleta em Pernambuco, identificando áreas em que a mortalidade por acidentes de motocicleta é maior, destacando assim os municípios das regiões de desenvolvimento do agreste e sertão.

Outros estudos voltados para Pernambuco são: *i*) o trabalho de Lima e Garcez (2015), no qual é analisada a acidentalidade na BR-232/PE nos anos de 2007 a 2012 através de testes de

hipótese; *ii*) a pesquisa de Lima e Garcez (2016), que utilizou da análise de correspondência simples e multivariada para explorar os acidentes ocorridos em Pernambuco do ano de 2007 a 2012; *iii*) Martins e Garcez (2017) que realizou uma análise descritiva dos acidentes em Pernambuco do ano de 2007 a agosto de 2015, criando também um mapa viário para visualização dos trechos críticos de acordo com a quantidade de acidentes; *iv*) o artigo de Martins e Garcez (2018) que produziu uma pesquisa exploratória sobre os acidentes de trânsito em Pernambuco ocorridos de 2007 a 2016, através da análise de correspondência e de *cluster*; *v*) Sá *et al.* (2019) propõem um índice de severidade multidimensional de modo a mensurar as causas/tipos de acidentes, utilizando como objeto de estudo os acidentes de Pernambuco; *vi*) Martins e Garcez (2019) apresentam um estudo cujo objetivo é ordenar as principais causas dos acidentes em Pernambuco utilizando uma abordagem multicritério e multiperíodo.

O presente trabalho se diferencia metodologicamente dos demais por focar no apoio a decisão através de SAD que utiliza de um modelo multicritério e multiperíodo para auxiliar na tomada decisão sobre em qual trecho atuar de acordo com a criticidade baseada nos critérios.

4.2 Abordagem Multicritério em acidentes de trânsito

Com o reconhecimento do grau de dificuldade de tratar o fenômeno de segurança rodoviária, deve-se verificar os aspectos detalhadamente da causalidade de acidentes e lesões, e não apenas os dados sobre o número de ocorrências; em outras palavras, a segurança viária deve ser medida sob um conceito multidimensional, não podendo ser capturado por um único indicador (FANCELLO; CARTA; FADDA, 2014).

Tendo essa multidimensionalidade e complexidade em vista, estudos sobre a problemática são realizados a partir de uma abordagem multicritério (BAO *et al.*, 2012). Eles utilizam um modelo *hierarchical fuzzy* TOPSIS para combinar os indicadores de desempenho de segurança no trânsito em um índice global, incorporando o conhecimento dos especialistas em termos linguísticos e assim refletir as informações sobre a hierarquia dos indicadores. No estudo foram avaliados 21 países da Europa. O modelo se mostrou útil devido a possibilidade de o público geral compreender bem os resultados, apoiando assim a política desejada. Compreensão essa facilitada por mostrar diversos indicadores de desempenho de segurança rodoviário em um único índice composto, facilitando o entendimento, mostrando assim a viabilidade do modelo.

Este aspecto também é comentado por Tešić *et al.* (2018), que faz uso da *Data Envelopment Analysis* (DEA) para avaliar a eficiência dos países da Europa quanto a segurança no trânsito com base nos seguintes critérios: álcool, velocidade, sistemas de proteção, veículo,

rodovias e gestão de traumas. O estudo destaca a importância da seleção de indicadores, os quais exercem a maior influência sobre o resultado. Resultado este que depende da coleta e qualidade dos dados, o método utilizado e dos indicadores. Além disso, o trabalho indica que um número maior de indicadores fornece um resultado de maior qualidade de modo que os tomadores de decisão são capazes de definir com precisão as ações, identificando pontos fortes e fracos. Em contraste a isso, na prática, surge a necessidade da utilização de um índice que possua um número limitado de indicadores que forneçam qualidade suficiente para comparar os países.

Cabe citar também o trabalho de Fancello, Carta e Fadda (2014), que utilizou dos princípios do ELECTRE III para comparar o desempenho de diferentes seções de uma rodovia em relação as condições de segurança, para então ser realizado o ordenamento seções pela criticidade as quais terão prioridades de intervenção. No estudo são utilizados diferentes critérios, nomeadamente: fator da hora de pico, porcentagem de veículos pesados, grau de saturação, fator de ajuste para a largura da pista, potencial de segurança, taxa de acidentes. Além disso, a análise de sensibilidade mostrou que o resultado do *ranking* é uma solução estável, pois a variação dos pesos do peso dos critérios não produziu alterações significativas. Semelhantemente, Fancello et al. (2015) utiliza da Análise de Concordância para o mesmo, sendo este um método derivado do ELECTRE I, o qual utiliza relações de sobreclassificação baseado nas análises de concordância e discordância.

Em outro modelo e com o objetivo de identificar os trechos rodoviários mais críticos considerando considerados critérios geométricos e de volume de tráfego, Fancello et al. (2019) utiliza os métodos TOPSIS e VIKOR; adicionalmente, o estudo compara estes dois métodos a Análise de Concordância (baseado no ELECTRE I), além de citar o ELECTRE III. Por conseguinte, é mostrado que a Análise de Concordância nem sempre permite ao tomador de decisão identificar a melhor solução. Já no ELECTRE III, apesar de superar a Análise de Concordância pois considera diferentes graus de preferência, é difícil para o tomador de decisão atribuir valores aos limiares; o TOPSIS e VIKOR obtiveram resultados semelhantes a Análise de Concordância, sendo que de modo geral, o TOPSIS se mostrou mais útil.

De forma geral, os estudos que utilizam da abordagem multicritério para analisar os acidentes de trânsito trabalham com critérios relacionados aos seguintes grupos: fatores humanos, do veículo, ambientais, de gestão, da via, risco pessoal e do tráfego (ALMEIDA; MOREIRA, 2008; BAO et al., 2012; CASTRO-NUÑO; ARÉVALO-QUIJADA, 2018; CHEN; WANG; DENG, 2015; FANCELLO; CARTA; FADDA, 2014, 2015, 2019; HERMANS et al., 2010; KANUGANTI et al., 2017; KHORASANI et al., 2013; LIMA; RAMOS; FERNANDES

JÚNIOR, 2010; RODRIGUES; RIBEIRO; DA SILVA NOGUEIRA, 2015; ROSIĆ et al., 2017; SHEN et al., 2011; TEMRUNGSIE et al., 2015; TEŠIĆ et al., 2018). Os critérios utilizados na literatura existente podem ser vistos da Figura 2 a Figura 4; além disso, os mesmos encontram-se no Apêndice A, de acordo com o autor, objetivo e método base utilizado. Os fatores humanos, do veículo e ambientais são expostos na Figura 2; já os fatores relacionados e a via são representados na Figura 3, e por fim, os critérios relacionados diretamente aos acidentes podem ser vistos na Figura 4.

Vale mencionar que alguns dos trabalhos tinham como objetivo avaliar o desempenho dos países quanto a segurança viária, sendo assim, critérios dentro do grupo de fatores ambientais e de gestão foram utilizados, tendo uma visão global. Entretanto, os mesmos não foram utilizados neste trabalho, pois, em sua maioria, eles são relevantes quando visto na visão macro, mas não para o objetivo de avaliar trechos, visto que eles não irão variar ou não estão disponíveis para o trecho.

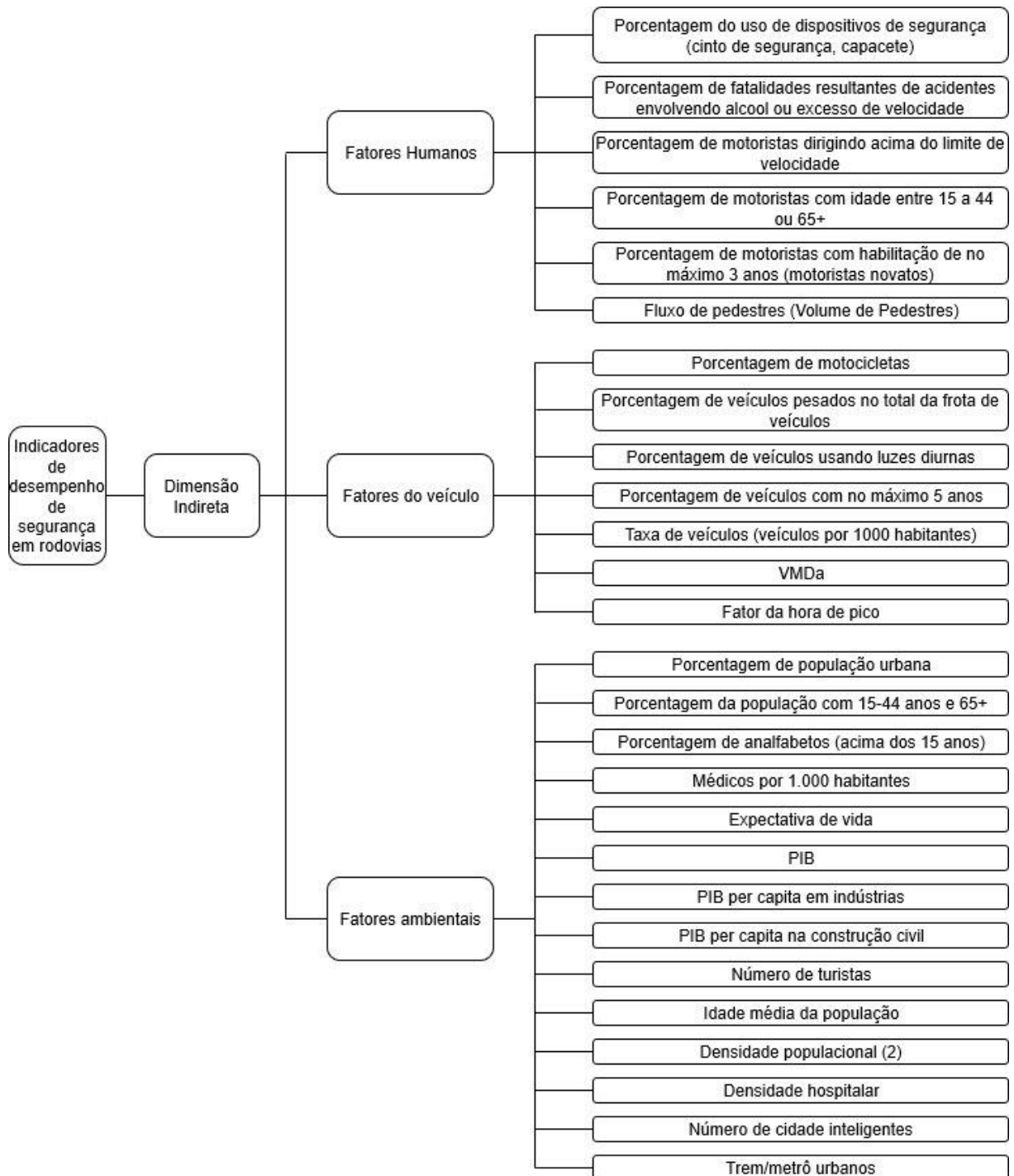
No que se refere aos fatores humanos, os mesmos não foram utilizados neste estudo em razão da não existência de dados sobre os mesmos de forma a serem divididos por trecho; exceto a porcentagem de fatalidades por uso de álcool e excesso de velocidade, que não foi utilizada pois não houve diferenciação das causas dos acidentes; em outras palavras, o que importou foi a consequência e não a causa do acidente. Da mesma maneira, ocorreu com os fatores dos veículos, onde não há informação sobre os mesmos, com exceção do Volume Médio Diário anual (VMDa), o qual foi utilizado neste estudo para compor alguns índices.

Sobre os fatores da via, por limitações de informação não foi possível aplica-los de forma integral; porém eles são representados qualitativamente e de forma mais generalizada através dos critérios: qualidade da sinalização, do pavimento e da geometria.

Por outro lado, os critérios que fazem parte da dimensão direta (Figura 4), mesmo que não tenham sido aplicados de forma exatamente igual aos definidos pelos artigos, eles fazem parte dos índices os quais refletirão o desempenho dentro dos critérios, são eles: índice de ocorrências, de feridos graves, leves e ilesos (apenas danos materiais). Esta escolha foi feita por conseguir considerar o VMDa e a severidade do acidente dentro de um mesmo critério, de forma a balancear a probabilidade de ocorrer um acidente e a gravidade do mesmo.

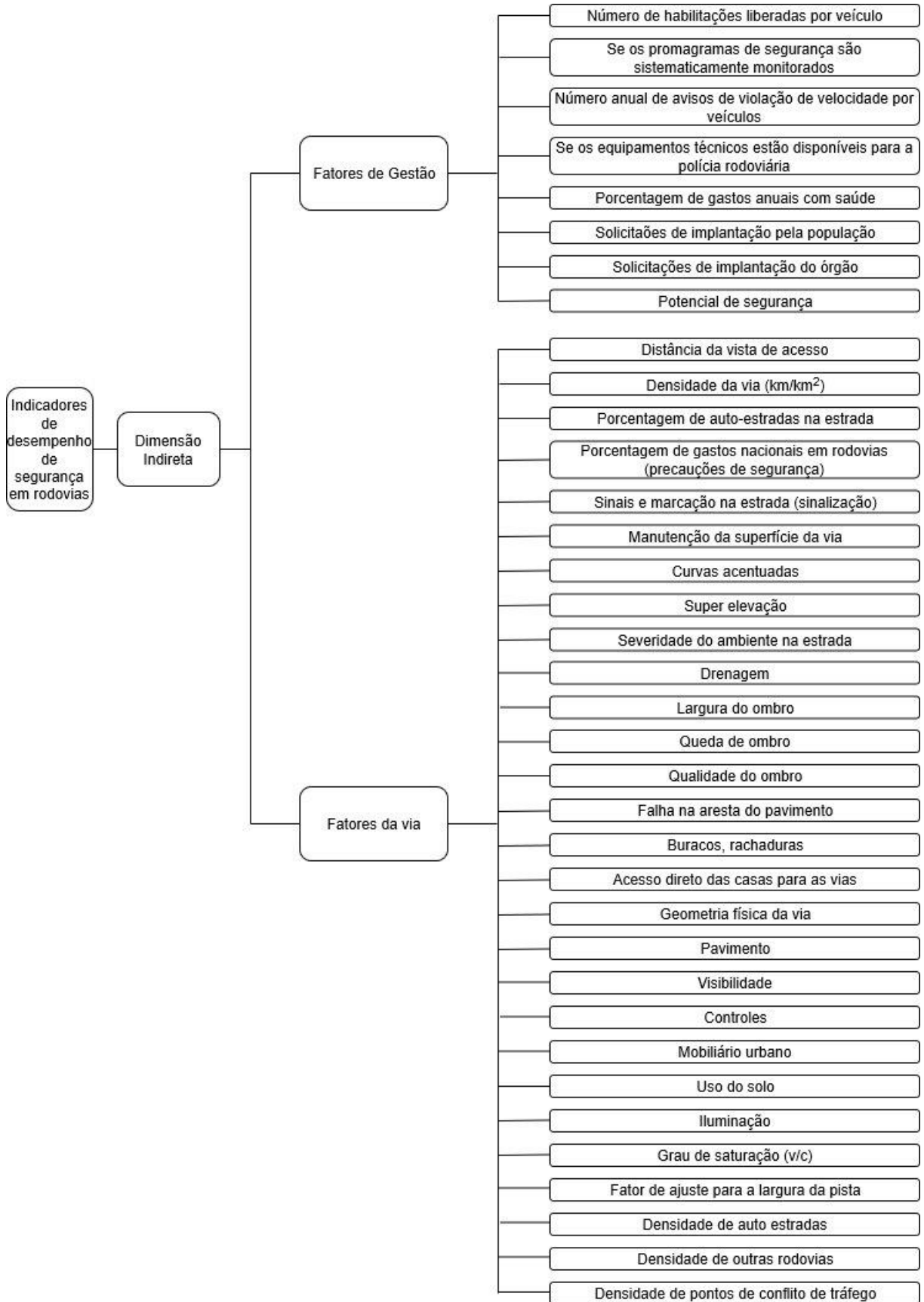
A partir da revisão da literatura foi notado a ausência de estudos que agregam a abordagem multicritério, uma abordagem multiperíodo, mesmo com a disponibilidade dos dados ao longo dos anos e da importância do estudo temporal da evolução da problemática.

Figura 2 – Indicadores de desempenho de segurança rodoviária relacionados aos fatores humanos, do veículo e ambientais encontrados na literatura



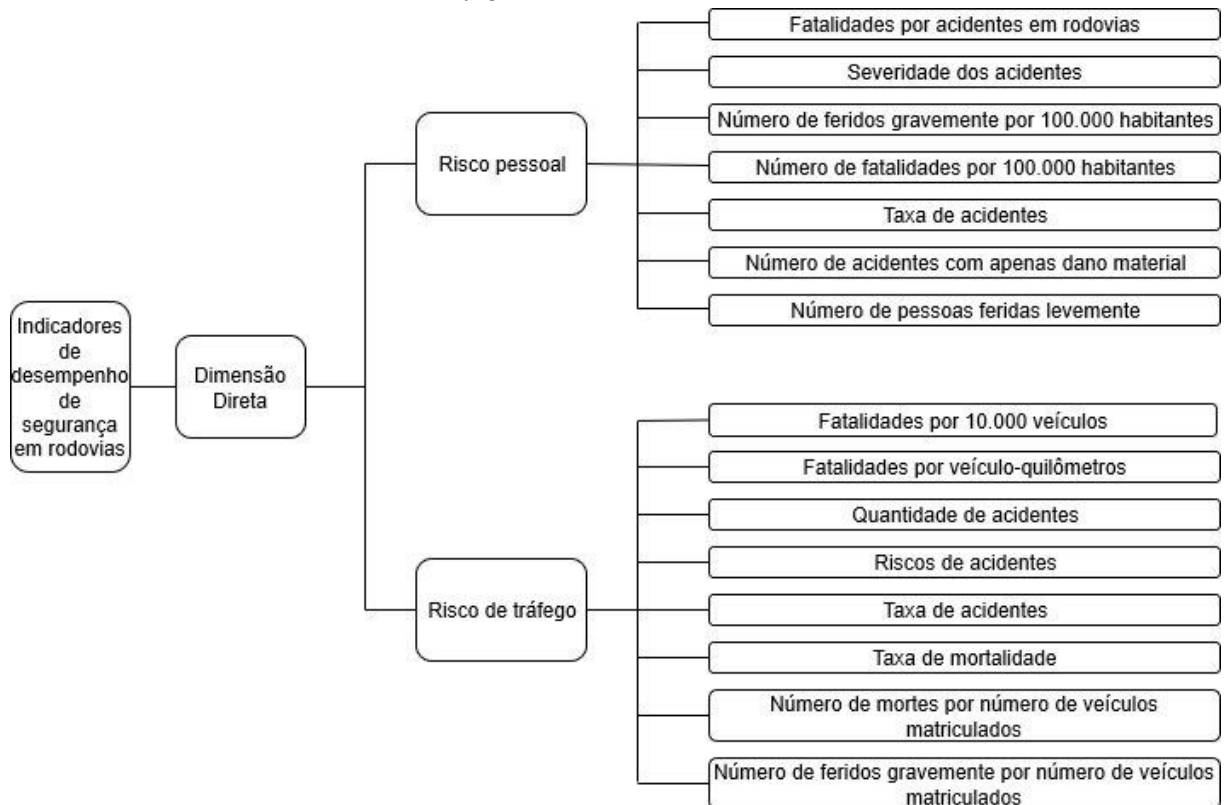
Fonte: o autor (2020)

Figura 3 – Indicadores de desempenho de segurança rodoviária relacionados aos fatores de gestão e da via encontrados na literatura



Fonte: o autor (2020)

Figura 4 - Indicadores de desempenho de segurança rodoviária relacionados aos fatores de risco pessoal e de tráfego encontrados na literatura



Fonte: o autor (2020)

4.3 Decisão Multicritério e Multiperíodo

Os métodos MCDM têm sido muito aplicados em estudos de várias áreas (DE ALMEIDA et al., 2015). Porém, muitos dos estudos trabalham com problemas em que os dados e informações originais são advindos de um único período, isso porque, o MCDM “clássico” possui como limitação conseguir tratar de problemas de tomada de decisão que consideram apenas um período de avaliação (CHEN; LI, 2011; LIN; LEE; TING, 2008; XU, 2008). Em acordo, Yan et al. (2015) acrescenta que os métodos tradicionais concentram-se na agregação dos valores dos atributos existentes, não considerando a tendência de desenvolvimento de alternativas ao longo de todo o período

Entretanto, em problemas complexos de decisão, é necessário considerar dados coletados em diferentes períodos, considerando assim as performances das alternativas no tempo presente e no passado. Problemas esses, que são frequentemente encontrados em situações reais, tais como, a tomada de decisão sobre investimentos, diagnóstico médico, exames dinâmicos de pessoal e avaliação dinâmica do sistema militar e eficiência, dentre outros, na qual os *inputs* para a decisão são coletados em diferentes períodos (CHEN; LI, 2011; LIN; LEE; TING, 2008; WEI, 2009, 2011).

Problemas de decisões multicritério que consideram diferentes períodos são denominados na literatura como “tomada de decisão multicritério dinâmica” (do inglês, *Dynamic multiple criteria decision making* – DMCDM). Além desse, alguns autores também chamam de “tomada de Decisão Multiperíodo e Multiatributo” (do inglês, *Multiple period multiple criteria decision making* – MP-MCDM).

Os problemas de DMCDM possuem suas próprias complexidades, sendo considerados mais difíceis que problemas por si só MCDM, tornando-se assim um importante tópico no campo da moderna tomada de decisão, tanto pela sua complexidade, como também sua capacidade de tratar de problemas reais devido à consideração da dimensão tempo (CHEN; LI, 2011; LIN; LEE; TING, 2008; WEI, 2009, 2011). A Tabela 4 resume os artigos avaliados que fazem referência à decisão multicritério e multiperíodo.

Com base na literatura, percebe-se que os trabalhos referentes a problemas de tomada de decisão multiperíodo e multicritério podem avaliar contextos tanto de decisão em grupo ou individual, decisão que envolve incerteza ou não (utilizando de lógica *fuzzy* e números cinza), 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.

Destaca-se que apesar de diversos autores reconhecerem que a definição dos pesos do período é uma etapa importante da análise, a mesma não possui grande destaque na maioria dos artigos, ficando normalmente em segundo plano; o que ocorre é que alguns utilizam de meios conhecidos do MCDM, como o AHP e ANP, outros pegam diretamente do decisor sem destacar o meio de elicitação. Adicionalmente, tem-se os trabalhos de Xu (2008) e Xu e Yager (2008), os quais comentam que além dos meios mais conhecidos do MCDM, existem procedimentos matemáticos que podem ser utilizados para a definição dos pesos dos períodos, tais como: série aritmética, geométrica, distribuição exponencial, dentre outras.

Resumidamente, em sua maioria, os trabalhos realizados até então possuem maior foco em modelos aditivos. Um dos trabalhos que foca em problemas de sobreclassificação é o estudo Frini e Ben Amor (2019), que será utilizado como modelo base para a aplicação deste.

Além do estudo de Frini e Ben Amor (2019), os trabalhos de Xu (2008) e Xu e Yager (2008) são particularmente importantes para este trabalho já que os métodos para estabelecer pesos para períodos citados por eles são utilizados neste estudo.

Tabela 4 - Revisão da literatura sobre multiperíodo

Autores (ano)	Resumo
Chen e Li (2011)	Propõem um DMADM baseado em número difusos intuicionistas triangulares para um contexto de decisão em grupo e incerteza, utiliza da distância entre os números difusos para determinar o peso do atributo pelo método da entropia. O problema é resolvido para cada ano em separado e depois é realizada a agregação dos períodos.
Wei (2009)	O autor constrói dois novos operadores de agregação para problemas de DMADM, o operador geométrico ponderado difuso intuicionista dinâmico e operador geométrico ponderado difuso intuicionista dinâmico com incerteza, através dos quais é possível agregar matrizes de decisão de diferentes períodos em um só.
Wei (2011)	No trabalho é utilizado o conceito de números cinza para tratar do problema, nele faz-se uso do grau relacional individual cinza de cada alternativa para mensurar seus desempenhos e posteriormente é adotado o conceito de grau de adesão cinza e agregação <i>fuzzy</i> para agregar o desempenho de todos os períodos avaliados em um só.
Xu (2008)	É definido o conceito de operador de média ponderada dinâmica e introduz o método baseado em séries aritméticas, o método baseado em séries geométricas e o baseado em distribuição normal para obter os pesos associados ao operador; com base no operador de média ponderada dinâmica desenvolve-se a abordagem ao MP-MADM.
Xu e Yager (2008)	Eles acrescentam ao trabalho de Xu (2008) o método baseado na função monotônica de intervalo unitário, do inglês <i>Basic Unit-interval Monotonic</i> (BUM), o método da idade média e o método baseado na distribuição exponencial e exponencial inversa para determinar os vetores de peso associados aos períodos. Além disso, desenvolve um procedimento para problemas dinâmicos intuicionistas de tomada de decisão multifatorial de vários atributos onde as informações tomam a forma de números difusos coletados em diferentes períodos.
Xu (2009)	Investiga os problemas dinâmicos de decisão em grupo de múltiplos atributos híbridos, nos quais as informações de decisão, fornecidas por vários tomadores de decisão em diferentes períodos, são expressas em números reais, números de intervalo ou rótulos linguísticos; a abordagem para determinar os pesos dos períodos é baseada na função BUM, e então é proposto um modelo dinâmico multiatributo híbrido para decisão em grupo baseado no operador de agregação geométrica híbrida.
Yan et al. (2015)	Apresentam um método dinâmico de destino cinza em que os valores de atributo assumem a forma de números cinza a partir do qual o desempenho da informação e a tendência de desenvolvimento de alternativas através dos multi-períodos são refletidos.
Frini e Ben Amor (2019)	Desenvolveu um novo método de decisão denominado <i>Multi-criteria multi-Period Outranking Method</i> (MUPOM), método este baseado nos princípios do ELECTRE para uma configuração multiperíodo e temporal, sendo aplicado no estudo com um foco na visão de longo prazo relacionado ao desenvolvimento sustentável, priorizando ações a serem aplicadas na gestão florestal sustentável.

Fonte: o autor (2020)

4.4 SAD em acidentes de trânsito

A utilização de SAD para o tratamento de acidentes pode se mostrar benéfico à diminuição do risco de acidentes. Ryder *et al.* (2017), por exemplo, em seu estudo sobre prevenção de acidentes, no qual utiliza um SAD que fornece avisos aos motoristas sobre os pontos frequentes de acidentes baseados em análises de localização aplicados a um conjunto de dados de acidentes históricos nacionais, mostra que esses avisos resultam em uma melhoria significativa no comportamento do motorista ao longo do tempo, resultado obtido após o teste com 57 motoristas. Ademais, é ressaltado que a eficácia do sistema depende da personalidade do motorista.

Cabe citar também o trabalho de Martensen *et al.* (2019), que descreve as bases científicas do Sistema Europeu de Apoio à Decisão em Segurança Rodoviária, o qual consiste em um sistema que fornece as evidências disponíveis sobre uma ampla gama de riscos e possíveis contramedidas. Nele é possível identificar os fatores e medidas de risco e os vincular entre si, é mostrado de forma resumida os efeitos estimados na literatura para cada fator e medida de risco, além de ser um instrumento de avaliação de eficiência econômica. Através dele, o usuário pode obter uma visão geral rápida ou aprofundar os resultados de estudos únicos, de acordo com suas próprias necessidades. De modo geral, permite que os usuários entendam os fatores de risco e selecionem as medidas mais apropriadas e econômicas. O SAD possibilita o acesso a informações de todo o sistema rodoviário - usuários, infraestrutura, veículos, atendimento pós-impacto - em um único local, além de indicar a relação entre riscos e medidas no sistema de ligação. Além disso, fornece uma ferramenta para avaliar a eficiência de custos das medidas e comparar os custos das medidas de maneira padronizada.

Por fim, para exemplificar o impacto de um SI na segurança no trânsito, pode-se citar o artigo de Török; Pauer e Berta (2017), o qual analisa o impacto de um SI Rodoviário na segurança no trânsito. Eles destacam que a disponibilização de informações sobre os trechos críticos permite o aumento da segurança nas rodovias. Dentre outros trabalhos estão o de Tripodi *et al.* (2012) que desenvolveu um SAD para selecionar medidas de segurança para reduzir o risco de acidentes em rodovias no Brasil e na Índia; e o estudo de Basile e Persia (2012), onde desenvolve-se um SI integrado a um SAD já existente, permitindo a avaliação de impacto nas intervenções de segurança rodoviária que envolvem uma modificação das condições de tráfego.

5 SISTEMA DE APOIO A DECISÃO (SAD)

5.1 Modelagem do problema

Segundo de Almeida (2013), alguns dos elementos necessários para a resolução de um problema decisão são: *i)* caracterizar o decisor; *ii)* identificar objetivos; *iii)* estabelecer critérios; *iv)* estabelecer ações; *v)* efetuar modelagem de preferências e escolha do método; *vi)* avaliar alternativas; *vii)* efetuar análise de sensibilidade; *viii)* analisar os resultados e implementar decisão.

Sendo assim, para a modelagem do problema, foi desenvolvido o *framework* conforme mostrado na Figura 5. Deste modo, tem-se que para cada etapa:

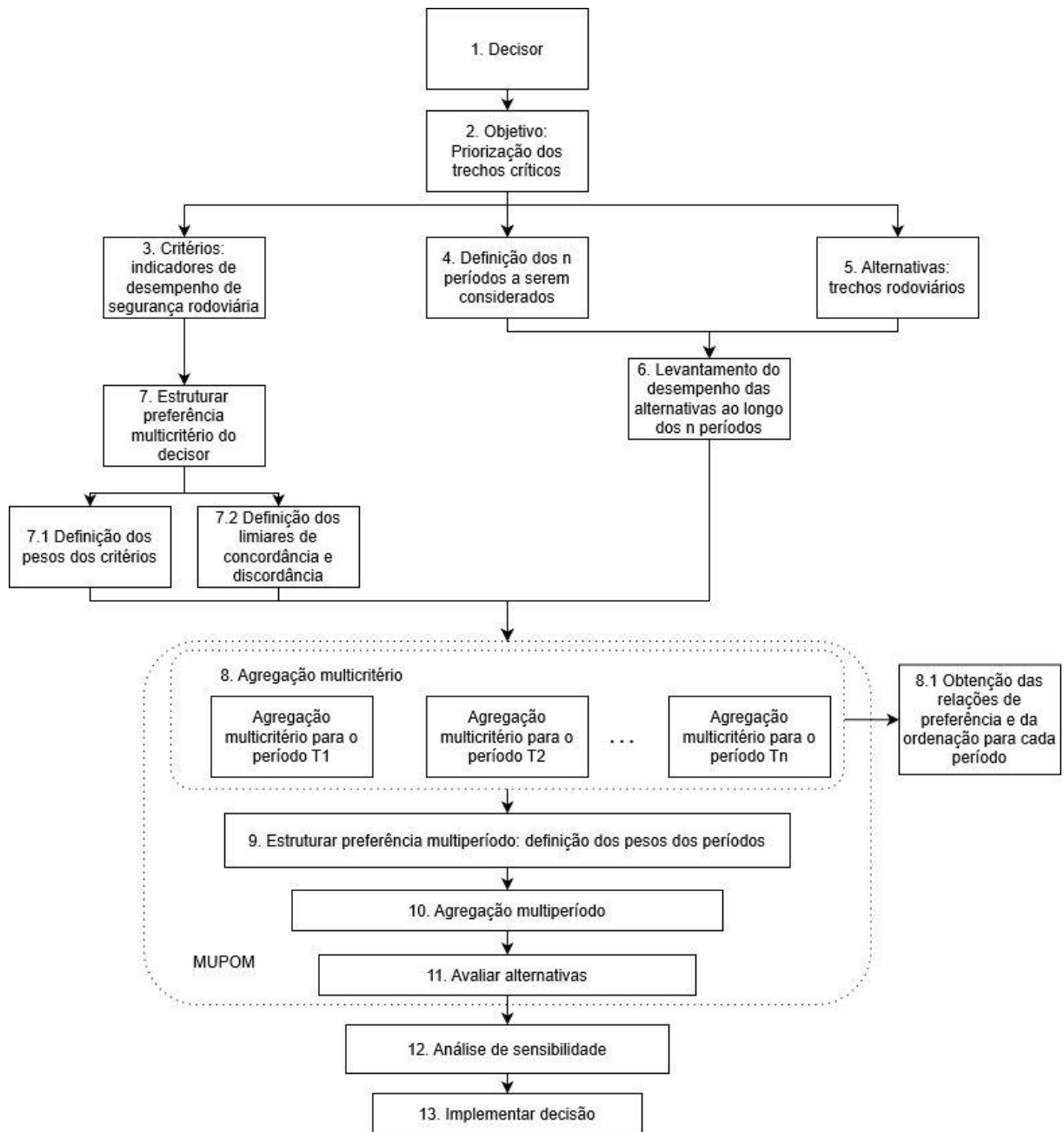
1. Definição do decisor: inicialmente, este framework trata de um único decisor, que será aquele responsável pela intervenção nos trechos rodoviários de modo a diminuir o risco de acidentes. Por exemplo, poderia ser um representante do poder público e órgãos relacionados, tais como, a PRF e o DNIT;
2. Definição dos objetivos: tem-se que 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, refletindo assim os objetivos do problema e as diferentes dimensões de consequência dos acidentes de trânsito; sendo necessário existir ao menos dois critérios para caracterizar um problema multicritério;
4. Abordagem multiperíodo: definição da quantidade de períodos de tempo a serem considerados, onde serão avaliados os desempenhos das alternativas em cada período;
5. Definição do espaço de ações: o espaço de ações consiste de um conjunto discreto, na qual são os trechos de rodovia que vão de 2 até n alternativas de avaliação.
6. Definição da matriz de consequência: levantamento do desempenho das alternativas nos diferentes critérios e para cada período considerado;
7. Estruturação das preferências do decisor: nesta etapa é realizada a modelagem de preferências do decisor. Portanto, considera-se uma racionalidade não-compensatória. Além disso, estima-se os pesos dos critérios; ou seja, é visto qual o grau de importância que cada critério possui com base nas preferências do decisor.

De acordo com MUPOM, é necessário definir os limiares de concordância e discordância para os quais uma alternativa seja preferível a outra;

8. Agregação multicritério: nesta etapa dar-se início ao MUPOM. Nela é realizada a agregação multicritério para cada período considerado, onde 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;
9. Estruturação das preferências relacionadas ao multiperíodo: semelhantemente a definição dos pesos dos critérios, deve-se definir qual é o grau de importância que cada período irá ter com base nas preferências do decisor;
10. 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;
11. Avaliação dos resultados das alternativas: nesta fase são construídos os conjuntos a partir das relações de preferência resultantes, com base na cardinalidade desses conjuntos são construídas as “performances” das alternativas e conseqüentemente uma ordenação das mesmas. É verificado também se há alternativas as quais não sofrem nenhum tipo de preferência, sendo esta alocada ao conjunto de “melhores alternativas”;
12. 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;
13. Implementação da decisão: o decisor deve implementar a decisão tendo como referência os resultados obtidos.

De modo geral, o MUPOM foi escolhido como método de aplicação devido o problema tratado no presente estudo utilizar-se do conceito de importância dos múltiplos períodos (vários anos de análise), múltiplos critérios e tratar-se de um problema não-compensatório. Supõe que uma vez que a característica do objeto de estudo lidar com perdas de vidas humanas, é complexo para o decisor estabelecer o quanto um determinado desempenho em um estado físico compensa um outro critério, portanto justificando uma racionalidade não-compensatória. No entanto, caso seja verificado que o decisor tenha a racionalidade compensatória deve-se adotar um modelo de decisão multicritério que atenda esse requisito, isto é, um modelo que utiliza o trade-off como método de agregação.

Figura 5 – Framework do problema



Fonte: o autor (2020)

5.1.1 Indicadores de desempenho de segurança rodoviária (critérios)

Referente a Etapa 3 do framework proposto (Figura 5), dado que o problema estudado é multidimensional, tem-se que a gravidade de cada trecho de rodovia (alternativas) pode ser avaliada com base em diferentes indicadores de desempenho de segurança rodoviária, que para a problemática de decisão, são utilizados como critérios para os quais os desempenhos das alternativas serão avaliados. Conforme mostrado na revisão da literatura e resumido nas Figuras 2, 3 e 4 tem-se dezenas de indicadores de desempenho de segurança rodoviária desenvolvidos.

Neste trabalho foram selecionados sete critérios, são eles: índice de mortes, ferimentos graves, leves e dano material, geometria; sinalização e pavimento.

Os quatro primeiros indicadores foram baseados no índice utilizado na “Metodologia para Identificação de Segmentos Críticos” (DNIT, 2006), o qual faz uso do “Índice de acidentes em um trecho” (DNIT, 2006), utilizado, também, em Loprencipe *et al.* (2018). Este índice é mostrado na Equação (7). Baseado no índice anterior, este trabalho propôs os demais índices relativos sobre os níveis de severidade das consequências dos acidentes, são eles: *i*) índice de mortes (Equação (8)); *ii*) índice de ferimentos graves (Equação (9)); *iii*) índice de ferimentos leves (Equação (10)); *iv*) índice de ilesos (Equação (11)).

Índice de acidentes do trecho j (N_j): representa o índice de acidentes, relativo ao trecho j , considerando um volume médio de tráfego médio anual e extensão, sendo ele dado pela Equação (7):

$$N_j = \frac{10^6 * n_j}{365 * (VMDa)_j E_j} \quad (7)$$

onde,

n_j = número anual de acidentes ocorridos no segmento;

E_j = extensão associada ao segmento j ;

$(VMD)_j$ = volume médio diário anual, observado no segmento j .

Índice de mortes do trecho j (M_j): representa o índice de pessoas mortas em acidentes, relativo ao trecho j , considerando um volume médio de tráfego médio anual e extensão, sendo ele dado pela Equação (8):

$$M_j = \frac{10^6 * m_j}{365 * (VMDa)_j E_j} \quad (8)$$

onde,

m_j = número anual de pessoas mortas no segmento.

Índice de ferimentos graves do trecho j (G_j): representa o índice de pessoas feridas gravemente em acidentes, relativo ao trecho j , considerando um volume médio de tráfego médio anual e extensão, sendo ele dado pela Equação (9):

$$G_j = \frac{10^6 * g_j}{365 * (VMDa)_j E_j} \quad (9)$$

onde,

n_j = número anual de pessoas feridas gravemente no segmento.

Índice de ferimentos leves do trecho j (L_j): representa o índice de pessoas feridas levemente em acidentes, relativo ao trecho j , considerando um volume médio de tráfego médio anual e extensão, sendo ele dado pela Equação (10):

$$L_j = \frac{10^6 * l_j}{365 * (VMDa)_j E_j} \quad (10)$$

onde,

l_j = número anual de pessoas mortas no segmento.

Índice de ilesos do trecho j (I_j): representa o índice de pessoas ilesas em acidentes (acidentes os quais possuem apenas danos materiais e consequências não físicas a vítima), relativo ao trecho j , considerando um volume médio de tráfego médio anual e extensão, sendo ele dado pela Equação (11):

$$I_j = \frac{10^6 * i_j}{365 * (VMDa)_j E_j} \quad (11)$$

onde,

i_j = número anual de pessoas ilesas no segmento.

Através das equações acima percebe-se que o índice será proporcional (relativo) a variável que determina número de acidentes ou de uma determinada consequência, e inversamente proporcional a extensão e o $VMDa$. Ele permite que a frequência de acidentes ou a severidade sejam relativizadas pela respectiva extensão e $VMDa$ do trecho. Por exemplo, mesmo que um trecho tenha um alto número de ocorrências, ele pode ter um baixo desempenho caso tenha uma extensão ou $VMDa$ altos. Fazendo com que os diferentes trechos, com diferentes extensões e $VMDa$ possam ser comparados.

Já no que diz respeito aos três últimos critérios, estes se referem à qualidade da geometria, da sinalização e do pavimento, sendo estes critérios com características qualitativas. Sendo assim, para esses três critérios as alternativas podem ter cinco possíveis desempenhos, são eles: Ótimo, Bom, Regular, Ruim, Péssimo. Para o estudo de caso, essas qualificações foram retiradas dos relatórios gerenciais do Conselho Nacional de Trânsito (CNT) de cada ano. Segundo o relatório de 2018 (CNT, 2018), essas três dimensões são definidas por:

- *Geometria da Via:* são identificadas as condições das características geométricas da via, subdivididas em tipo de rodovia, perfil da rodovia, presença de faixa adicional,

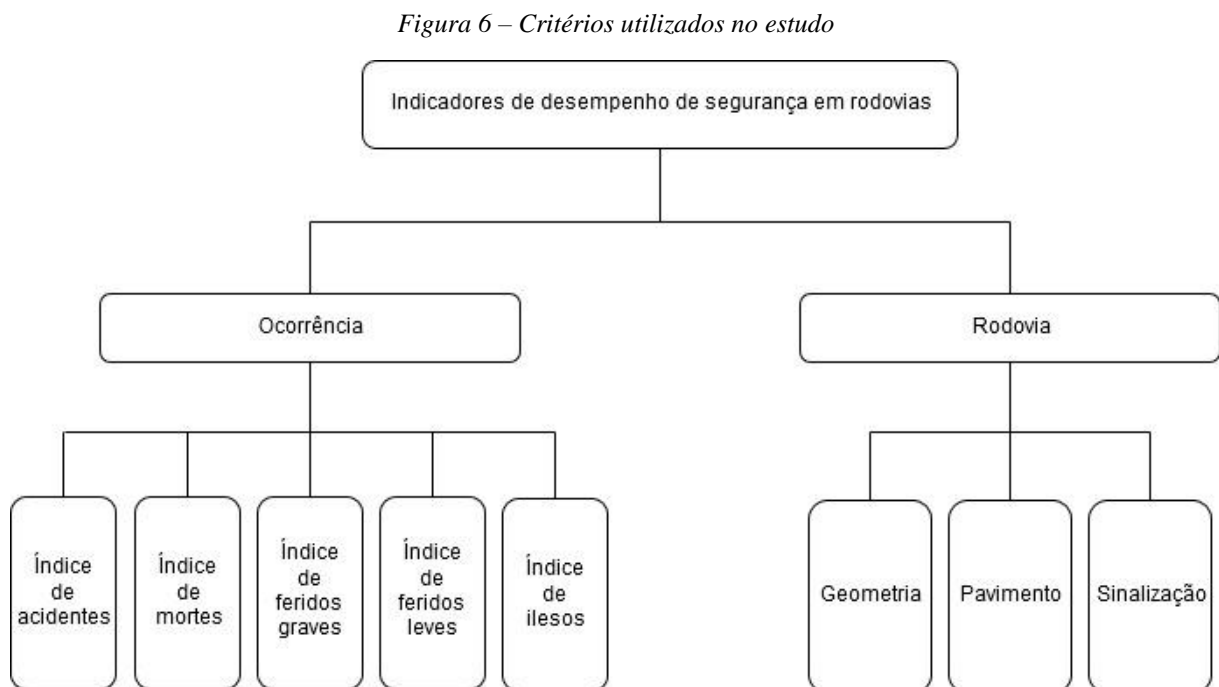
presença de pontes e viadutos, presença de curvas perigosas, condição da curva perigosa, presença de acostamento e condição do pavimento do acostamento;

- *Pavimento*: são identificadas as características do pavimento das rodovias, o pesquisador insere informações acerca da condição de superfície, da velocidade devido ao pavimento e da presença de pontos críticos;
- *Sinalização*: são identificadas a presença e as condições da sinalização horizontal (faixas centrais e laterais), da sinalização vertical (presença de placas de velocidade, placas de indicação e placas de interseção e visibilidade e legibilidade de todas as placas do Código de Trânsito Brasileiro - CTB) e de defensas.

A partir da avaliação agregada dessas variáveis a via é classificada.

Em suma, os cinco primeiros índices referem-se ao acidente propriamente dito, e os três critérios qualitativos relativo as características do trecho da rodovia. No que se refere aos 5 primeiros critérios, quanto maior o valor do índice, mais o trecho é crítico. Por outro lado, para os 3 critérios referentes a via, quanto pior a classificação dada, maior a necessidade de uma intervenção, ou seja, ele será mais crítico (critério decrescente).

Todos os critérios utilizados são representados na Figura 6.



Fonte: o autor (2020)

5.1.2 Definição dos pesos dos múltiplos períodos

Refere-se à Etapa 9 do framework proposto (Figura 5). Para Xu (2008), uma informação importante para se trabalhar com multiperíodo é a definição dos pesos para cada período, pesos esses que podem ser obtidos diretamente do decisor, por procedimentos como *Analytic Hierarchical Process* (AHP) ou *Analytic Network Process* (ANP), por exemplo, ou podem ser obtido através de procedimentos matemáticos. Xu (2008) e Xu e Yager (2008) definem alguns métodos para estabelecer pesos para períodos (descritos na Tabela 5), com suas respectivas equações (Equação (12) a (17)).

Tabela 5 – Métodos de definição de pesos para os períodos

Método	Características	Equação
Série aritmética	Gera pesos que seguem uma sequência crescente se a razão for maior que zero, decrescente se a razão for menor que zero ou constante se a razão for igual a zero. A sequência assume uma característica linear e ela depende de valores a serem definidos para a razão (coeficiente angular) e um peso inicial (coeficiente linear).	$\lambda(t_k) = \eta + (k - 1)\alpha, \quad (12)$ $\eta + (k - 1) \geq 0$ <p>onde $\lambda(t_k)$ → Peso do período k; η → Peso do primeiro período; k → período α → razão</p>
Série geométrica	Os pesos serão crescentes se a razão for maior que, decrescente se a razão for menor que 1 e constante se a razão igual a 1. Os pesos serão estabelecidos em função da razão a ser definida.	$\lambda(t_k) = \eta * \beta^{k-1}, \quad (13)$ $\eta, \beta > 0$ <p>onde $\lambda(t_k)$ → Peso do período k; η → Peso do primeiro período; k → período β → razão</p>
Distribuição normal	Possui como característica gerar pesos simétricos e maiores para os períodos mais centrais e menores para períodos extremos. Os pesos dependem de parâmetros conhecidos.	$\lambda(t_k) = \frac{e^{-\frac{(k-\mu_p)^2}{2\sigma_p^2}}}{\sum_{k=1}^p e^{-\frac{(j-\mu_p)^2}{2\sigma_p^2}}}, \quad (14)$ $k = 1, 2, \dots, p$ <p>onde $\lambda(t_k)$ → Peso do período k; μ_p → média; k → período; σ → desvio padrão; p → número de períodos</p>
BUM	É estabelecida uma função monótona básica de intervalo de unidade a qual pode gerar uma função crescente estritamente monótona, uma função decrescente estritamente monótona ou uma função constante. A sequência depende da função escolhida.	$\lambda(t_k) = Q\left(\frac{k}{p}\right) - Q\left(\frac{k-1}{p}\right) \quad (15)$ <p>onde $\lambda(t_k)$ → Peso do período k; Q → Função monotônica de intervalo de unidade básica (BUM); k → período; p → número de períodos</p>
Distribuição exponencial	Distribuição contínua sem memória. Resulta em uma sequência monótona decrescente. Os valores dos pesos dependem de parâmetros conhecidos.	$\lambda(t_k) = \frac{e^{-\frac{k}{\mu_p}}}{\sum_{j=1}^p e^{-\frac{j}{\mu_p}}} \quad (16)$ <p>onde $\lambda(t_k)$ → Peso do período k; μ_p → média; k → período; σ → desvio padrão; p → número de períodos</p>
Distribuição exponencial inversa	Fornecer uma sequência monótona crescente. Os valores dos pesos dependem de parâmetros conhecidos.	$\lambda(t_k) = \frac{e^{\frac{k}{\mu_p}}}{\sum_{j=1}^p e^{\frac{j}{\mu_p}}} \quad (17)$ <p>onde $\lambda(t_k)$ → Peso do período k; μ_p → média; k → período; σ → desvio padrão; p → número de períodos</p>
Idade média	Associa os pesos dos períodos ao conceito da idade média dos dados, podendo então gerar uma sequência monótona crescente, uma sequência aritmética crescente ou decrescente. A sequência está em função do valor da idade média a ser definida.	Ver Xu e YAGER (2008)

Fonte: adaptado de Xu (2008) e Xu e Yager (2008)

De posse do conhecimento destes métodos, foram escolhidos os seguintes métodos a serem implementados no SAD para definir os pesos dos períodos: série aritmética, série geométrica, BUM, distribuição exponencial inversa e idade média. Eles foram escolhidos pois permitem uma sequência crescente, visto que, acredita-se que quanto mais recente o período, maior importância será dada a ele, pois as chances de ele refletir a realidade do presente da acidentalidade são maiores; em outras palavras, quanto mais recente o período, maior será o seu peso.

Além disso, outra técnica implementada foi o *Ranking Ordered Centroid* (ROC) (EDWARDS; BARRON, 1994), que consiste na transformação da informação de ordem dos critérios em “pesos”, não sendo necessária uma avaliação adicional do decisor, conforme mostrado na Equação (18). Este método foi também escolhido pois exigir menor esforço cognitivo do decisor e permitir uma sequência crescente dos pesos.

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{j} \quad (18)$$

onde w_i é o peso do período do tempo i , n é o número de períodos de tempo e j a posição do período na ordenação.

5.2 Modelagem e desenvolvimento do SAD

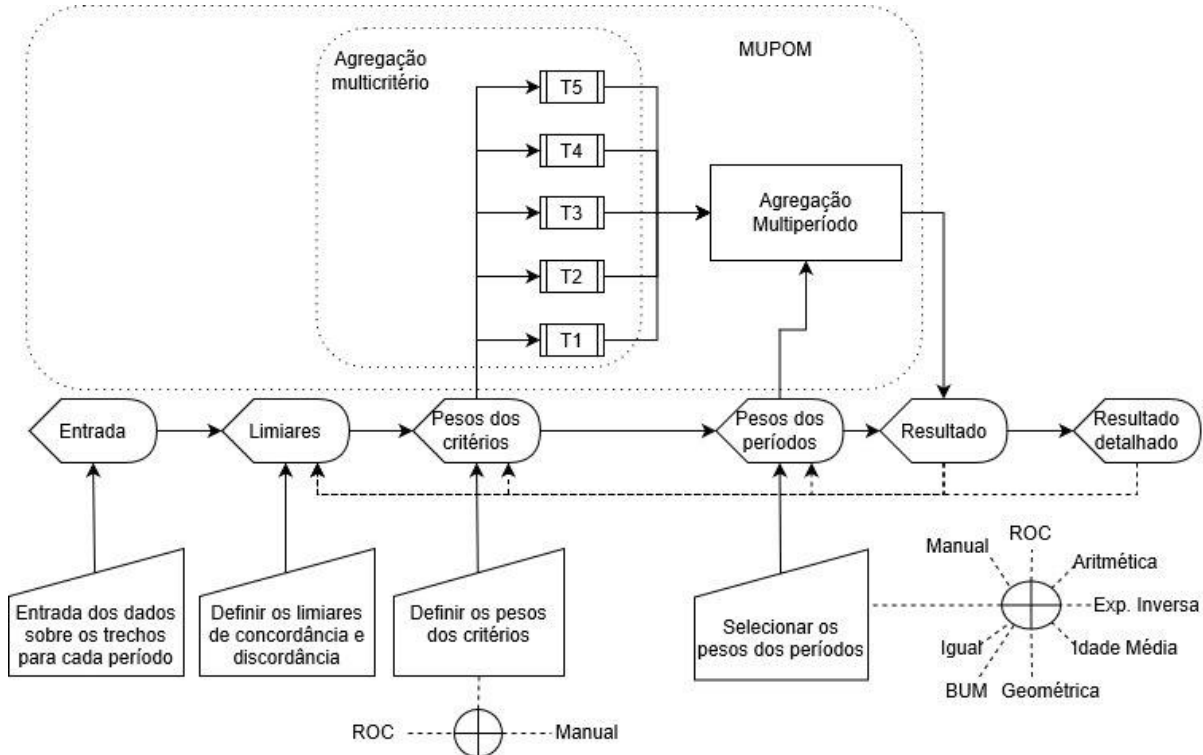
Para o desenvolvimento do SAD, foram utilizados a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA) e funções lógicas do Microsoft Excel®. Esta plataforma foi utilizada principalmente por permitir um ambiente amigável ao usuário (que no caso em estudo será considerado o decisor) com amplo conhecimento de todos e, conseqüentemente, uma maior facilidade de manipulação dos dados de entrada, visto que a maioria dos dados de entrada são advindos de planilhas em Excel.

Tendo que um SAD tem como objetivo auxiliar a decisão através de um sistema efetivo, a modelagem do sistema é realizada conforme mostrado na Figura 7. O sistema é composto principalmente por cinco *displays* os quais o usuário tem acesso, mostrados no centro vertical da ilustração. A primeira tela que o decisor se depara é a interface de entrada, onde é determinada o desempenho das alternativas. Posteriormente é encaminhado para a tela onde são colocados os pesos dos critérios e os limiares e por conseguinte a tela onde são inseridos os pesos dos períodos, ambas são onde serão determinados os parâmetros a serem utilizados. Por fim, o SAD tem como saída duas telas de resultados, uma com o resultado resumido e outra detalhado.

Através da Figura 7 é possível ver o caminho que o usuário faz, e o que ele deverá fazer em cada tela. Além disso, é evidenciado onde ocorre cada etapa do método base. O

procedimento multicritério ocorre em T1, T2, T3, T4, T5 (usuário não tem acesso), utilizando os dados sobre o desempenho da alternativa, pesos e limiares. Posteriormente, é realizada a etapa multiperíodo, com base nos pesos dos períodos.

Figura 7 - Modelagem do SAD



Fonte: o autor (2020)

Na interface de entrada (Figura 8), o usuário deve colocar os dados sobre os trechos de ocorrências. Estes *inputs* são armazenados em T1, T2, T3, T4 e T5, de acordo com o período, onde é realizada a primeira parte do MUPOM, a etapa de agregação multicritério. A tela consiste de uma matriz, onde na primeira coluna estão alternativas (no caso em estudo serão 11 alternativas utilizadas), e os espaços em branco das demais colunas serão preenchidos pelo o usuário, onde o mesmo deve fornecer os dados sobre a quantidade de ilesos, feridos leves, ferido grave, mortos, ocorrências e informações sobre a qualidade do pavimento, sinalização e geometria, e por fim o Volume Médio Diário (VMD) e a extensão do trecho, para cada alternativa. Este procedimento deve ser realizado para cada período, onde após finalizar cada período, o utilizador de apertar o botão “Add período” e ao adicionar todos os períodos desejados deve-se usar o botão finalizar (no caso em estudo serão utilizados cinco períodos, de 2015 a 2018). O número ao lado da palavra “período” indica o índice do período a ser acrescentado.

Figura 8 – Tela: entrada de dados

Alternativas	Ileso	Ferido Leve	Ferido Grave	Morto	Ocorrência	Pavimento	Sinalização	Geometria	VMDa	Extensão
A1										
A2										
A3										
A4										
A5										
A6										
A7										
A8										
A9										
A10										
A11										

Add período

Finalizar

Período= 1

Fonte: o autor (2020)

Após finalizar o fornecimento dos dados sobre os trechos, o usuário (decisor) é direcionado para a tela na qual ele fornecerá os pesos dos critérios (Figura 9). Nesta tela, o decisor deve determinar a ordem de importância dos critérios, de modo a utilizar o ROC como método para definir os pesos ou, também, o próprio tomador de decisão pode definir os pesos manualmente. Caso escolha os pesos ROC, após definir a ordem de importância dos critérios, o usuário deve apertar o botão “Calcular ROC” e, posteriormente, no botão “ROC”. Por outro lado, se definir manualmente deve apertar o botão “Manual”. Ao selecionar o método, as células ficarão verde indicando que aquela metodologia de estimação de pesos foi selecionada. Adicionalmente a esta informação, o decisor deve definir os limites de concordância e discordância, destacadas em amarelo.

Figura 9 - Tela: Peso dos critérios e limites de concordância e discordância

PESOS DOS CRITÉRIOS

		CRITÉRIOS							
		Ileso	Ferido Leve	Ferido Grave	Morto	Ocorrência	Pavimento	Sinalização	Geometria
MÉTODO	Ordem								
	ROC								
	Manual								

Calcular ROC

Próximo>>>

LIMIARES

Limites de concordância	
c1=	
c2=	
c3=	

Limites de discordância	
d ₁ (1) =	
d ₂ (1) =	
d ₃ (1) =	
d ₄ (1) =	
d ₅ (1) =	
d ₆ (1) =	
d ₇ (1) =	
d ₈ (1) =	
d ₁ (2) =	
d ₂ (2) =	
d ₃ (2) =	
d ₄ (2) =	
d ₅ (2) =	
d ₆ (2) =	
d ₇ (2) =	
d ₈ (2) =	

Fonte: o autor(2020)

Como próximo passo, o usuário deverá escolher os pesos dos períodos (Figura 10), de modo que a importância de cada período siga as preferências do decisor. O banco de modelos dispõe de sete métodos pré-definidos com suas particularidades, além de fornecer a opção de

definir manualmente; deve-se, então, escolher uma dessas opções. As informações sobre os pesos dos períodos são então agregadas ao MUPOM de modo a chegar ao resultado final. As opções de escolha são:

- ROC – É considerado a priori que a ordem dos períodos está de acordo com a ordem de inserção, ou seja, quanto mais recente o período maior a importância do período;
- Aritmética – Os pesos seguirão uma série aritmética. O usuário deverá determinar qual será o coeficiente angular da série;
- Geométrica – Os pesos seguirão uma série geométrica. O usuário deve fornecer a razão da série;
- Exponencial inversa – Os pesos seguirão uma distribuição exponencial inversa. Não é necessária nenhuma ação do usuário;
- Idade média – Os pesos serão determinados pelo método da idade média. O usuário deve fornecer a idade média para que os pesos sejam calculados;
- BUM – Os pesos estão de acordo com a função monótona de intervalo unitário. Para isso é necessário definir o valor da variável ‘r’ responsável pelo crescimento da função;
- Igual – Todos os períodos terão pesos iguais;
- Manual – O usuário define os pesos dos períodos manualmente.

Figura 10 – Tela: peso dos períodos

PESOS DOS PERÍODOS					
Método	Período				
	1	2	3	4	5
ROC					
Aritmética					
Geométrica					
Exp. Inversa					
Idade Média					
BUM					
Igual					
Manual					

ARITMÉTICA	
alpha=	Coef. Angular

GEOMÉTRICA	
B=	Razão

IDADE MÉDIA	
t=	

BUM	
r=	

Fonte: o autor (2020)

Tendo concluído esta parte, estas informações são agregadas aos dados dos trechos, de tal modo que procedimento multicritério para os diferentes períodos é realizada, através da metodologia MUPOM. Os resultados da etapa multicritério são levados para outro bloco do sistema onde será gerado o resultado multiperíodo. Além disso, os resultados separados por

período são mostrados também para o decisor. Essas telas estão disponíveis no capítulo do estudo de caso (Figura 14 a Figura 20).

Na tela da Figura 14 é mostrado o resultado de forma resumida, apenas uma ordem final de acordo com os resultados do MUPOM, e uma ordem das alternativas para cada período. Já nas demais figuras (Figura 15 a Figura 20) é possível verificar o resultado mais detalhado, onde pode-se ver quantas e quais alternativas o trecho sobreclassifica ou foi sobreclassificado por período, de acordo com o MUPOM. As células assumirão cores de acordo com a posição das alternativas.

A partir de qualquer uma das duas interfaces é possível acessar os outros menus através dos botões de modo a alterar o peso dos critérios, o peso dos períodos e os limiares.

Sobre o funcionamento do sistema em si, ele é composto de 21 macros, 22 botões virtuais os a quais ativam as macros, 7 métodos matemáticos pré-definidos para definição de pesos mais a opção de inserção manual, 11 abas sendo 5 disponibilizadas como tela de interação com e 6 reservadas para armazenamento e processamento dos dados de entrada.

Já quanto ao processamento, o sistema é eficiente visto que leva poucos segundos para armazenar e processar a entrada. A “demora” da inicialização até o fechamento do sistema fica por conta dos processos manuais, tais como a inserção dos *inputs*. Além disso, o sistema é considerado eficaz, visto que ele cumpre com o objetivo de ordenar os trechos, identificando, assim, as alternativas mais críticas dentro do conjunto. Consequentemente, é um sistema efetivo de acordo com a finalidade para o qual foi desenvolvido.

6 ESTUDO DE CASO

Nesta seção é realizada uma breve análise descritiva sobre as alternativas utilizadas no estudo de casos, os acidentes ocorridos em certos trechos de Pernambuco e é apresentado uma aplicação do SAD como estudo de caso. Os bancos de dados utilizado são disponibilizados pela PRF, disponíveis no site (<https://portal.prf.gov.br/dados-abertos-acidentes>). Os dados estão agrupados por pessoa e ocorrência, estando divididos por ano em planilhas.

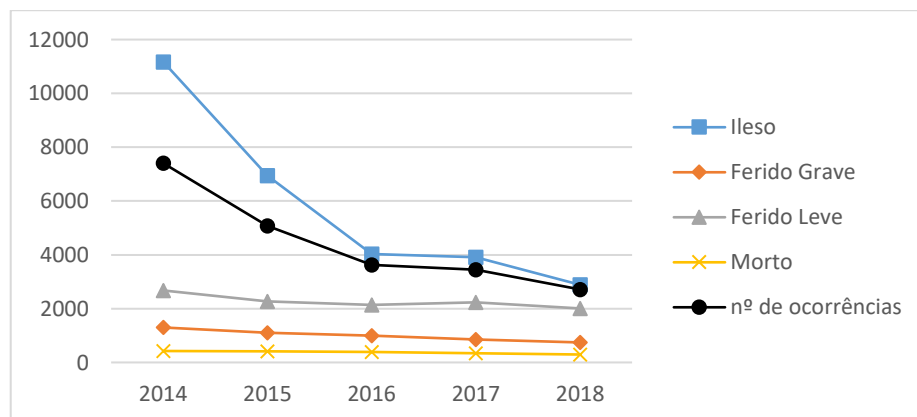
6.1 Análise descritiva

Realizando uma análise no panorama geral da situação de Pernambuco ao longo dos anos, tem-se que no período de estudo (2014 à 2018), ocorreram 22.262 acidentes em Pernambuco, os quais resultaram em 1.859 mortes, 11.323 ferimentos leves, 5.000 ferimentos graves e 28.947 ilesos (apenas danos materiais e psicológicos).

Nesse contexto, a partir do Gráfico 1 a qual mostra o número das consequências das ocorrências e a quantidade de acidentes ao longo dos anos, é possível notar uma tendência de redução em todas as categorias ao longo dos anos, onde quanto maior a severidade da consequência, menor é o número de envolvidos com a mesma.

O decaimento acentuado do número de ocorrências e ilesos (2014 para 2015) se deve a mudança na forma como as ocorrências foram registradas, visto que, ocorrências em que não haviam consequências físicas aos envolvidos passaram a não ser mais registradas da mesma forma de quando há vítimas, ficando a critério dos envolvidos registrar ou não. Vale salientar que alterações na forma de registro ao longo dos anos não compromete os resultados deste estudo, isso porque faz-se uso de uma racionalidade não-compensatória, logo o alto desempenho em um critério não compensa o de um outro critério.

Gráfico 1 – Estado físico e número de ocorrências por ano



Fonte: o autor (2020)

Sobre a divisão de seções de Pernambuco, o estado é dividido em 129 trechos; onde destes 129 trechos foram escolhidos 11 para exemplificação do SAD. As opções escolhidas para o estudo de caso fazem parte dos 25 trechos com mais ocorrências no ano de 2016. Além do mais, eles foram escolhidos de tal forma que fosse evitado casos onde algum trecho dominasse os demais e que ao mesmo tempo que possuam muitas ocorrências, feridos graves, leves e mortos, tornando assim o objeto de estudo mais interessante para a análise. Apesar desta filtragem inicial, o SAD desenvolvido permite que trechos muito críticos (possíveis dominantes) e ou com pouca criticidade (candidatos a dominados) sejam inseridos, e conseqüentemente, este alto ou baixo desempenho será refletido no resultado final. Entretanto, recomenda-se a exclusão de alternativas dominadas dado que elas não são potenciais objetos de intervenção tanto quanto as que a dominam.

Os 11 trechos escolhidos e a correspondência deles no SAD, assim como a extensão de cada trecho estão dispostos na Tabela 6:

Tabela 6 - Lista de alternativas (trechos)

Alternativa	Trecho	Extensão (km)
A1	ENTR BR-104/423(A) (Caruaru) - ENTR BR-423(B) (São Caetano)	18,2
A2	ENTR BR-232 (Cruzeiro do Nordeste) - ENTR PE-290/312/360 (Ibimirim)	53,7
A3	ENTR PE-007 (P/Moreno) - ENTR PE-050	16,0
A4	ENTR PE-041 (P/Araçoiaba) - ENTR PE-035 (Igarassu)	7,6
A5	ENTR PE-058 - ENTR PE-071 (P/Chã Grande)	13,0
A6	ENTR PE-078 - ENTR PE-087 (Gravatá)	11,2
A7	ENTR PE-145 (P/Fazenda Nova) - ENTR PE-095 (P/Riacho das Almas)	19,0
A8	ENTR PE-158 (Jupí) - ENTR PE-177 (P/Quipapá)	20,8
A9	ENTR PE-180 (Belo Jardim) - ENTR PE-217 (Pesqueira)	30,9
A10	ENTR PE-217 (Pesqueira) - ENTR BR-424 (Arcoverde)	38,8
A11	Rajada - ENTR BR-235(A)	72,0

Fonte: o autor (2020)

De posse das alternativas, é possível levantar os dados sobre as mesmas, mais especificamente sobre o número de ocorrências, óbitos, feridos graves, leves e ilesos, a qualidade do pavimento, sinalização e geometria, o VMDa e a extensão do trecho, de acordo com os anos em estudo. As cinco primeiras variáveis foram extraídas do banco de dados disponibilizado pela PRF; já o VMDa e a extensão foram obtidos do banco de dados disponibilizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT; porém, este só possuía dados para o ano de 2017. Portanto, afim de possuir os dados sobre todos os anos considerados, o VMDa, de 2017, foi tomado como referência, e os demais foram calculados com base na frota de veículos do ano (Equação (19)). Por outro lado, a extensão é constante ao longo do tempo.

$$V_j^k = \frac{VMDa_j^{2017} F^k}{F^{2017}} \quad (19)$$

onde V_j^k é o *VMDa* do trecho j no período k , $VMDa_j^{2017}$ é o *VMDa* do trecho j referente ao ano de 2017, F^k é a frota de veículos em Pernambuco no período k e F^{2017} é a frota de veículos em Pernambuco no ano de 2017.

Semelhantemente ao *VMDa*, a real qualidade do pavimento, sinalização e geometria de cada trecho não foi possível de ser obtida para todos os anos; todavia, relatórios anuais da Confederação Nacional do Transporte – CNT disponibilizam essas informações por BR. Assim, as mesmas foram utilizadas para o trecho localizados de acordo com a BR. Por mais que os dados de entrada não sejam exatamente fidedignos, eles fornecem uma boa representação da realidade e por consequência o estudo de caso é válido.

Primeiramente, foram levantados os dados sobre o número de ocorrências, mortes, feridos graves, leves e ilesos, assim como o *VMDa* e extensão da via, variáveis necessárias para os cálculos dos índices. Ressalta-se que os índices são calculados dentro do próprio SAD; contudo, são apresentadas aqui os gráficos formados pelos índices e os valores absolutos ao longo dos anos calculados independentemente do SAD para fins análise (Gráfico 2 a Gráfico 6), como também são mostrados os desempenhos qualitativos dos trechos (Tabela 7 a Tabela 9).

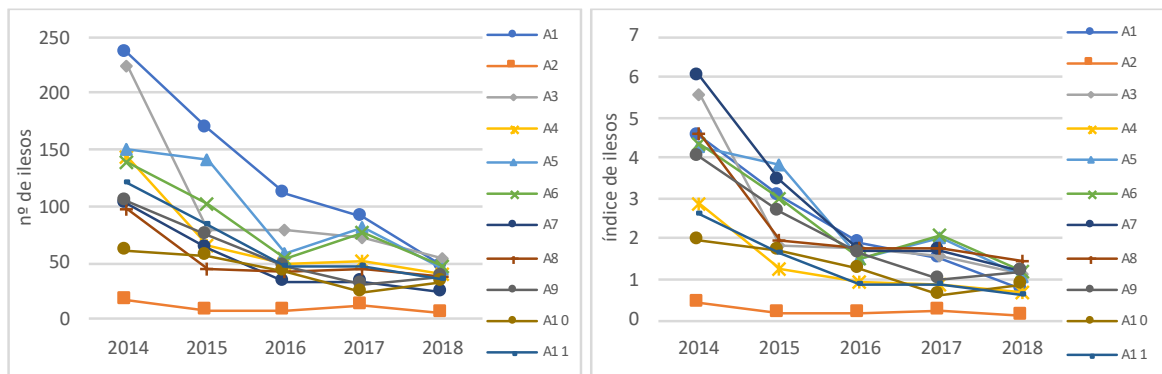
Em suma, através dos gráficos é reforçado que o valor absoluto de envolvidos com determinada consequência ou de ocorrências pode não ser a melhor representação do trecho, necessitando assim considerar o *VMDa* e extensão do trecho. Exemplificando, o trecho A1 apesar de ser a alternativa com mais acidentes de 2015 a 2018 (Gráfico 6), A7 que possui um desempenho em termos absolutos abaixo de A1 em todos os anos, quando considerado o índice de acidentes A7 é superior a A1 em quaisquer anos. Tal fato pode ser explicado pela extensão ou o *VMDa*, onde A7 possui um valor menor que A1, o que faz o índice subir. Portanto, utilizar os índices como um meio de medir o desempenho se torna uma melhor opção do que apenas lidar com valores absolutos, uma vez que ele agrega mais informações. Outras análises que mostram isso são:

- A7 possui um desempenho que não se destaca sobre os outros (Gráfico 3); já quando considerado o *VMDa* e a extensão o mesmo assume a liderança em todos os anos;
- A1 destaca-se em número de ilesos (Gráfico 2), leves (Gráfico 3) e ocorrências (Gráfico 6), porém nos respectivos índices de ilesos, leves e de acidentes possui um desempenho modesto.

Já quanto ao desempenho nos diferentes índices, A7 por exemplo, mesmo tendo um desempenho notável no índice de ferimentos leves (Gráfico 3) e acidentes (Gráfico 6), o mesmo não acontece com o índice de mortos (Gráfico 5). Tal acontecimento mostra que um alto desempenho em um quesito não necessariamente reflete a mesma performance nos outros.

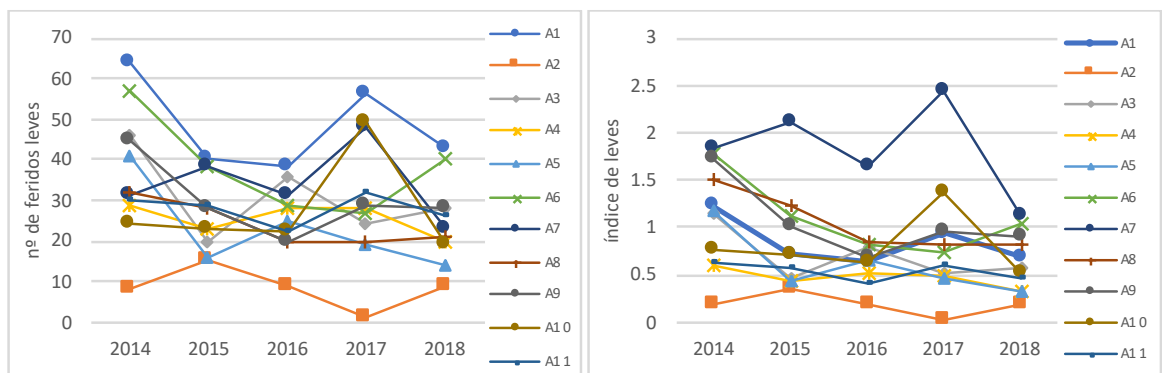
É interessante notar também que os desempenhos das alternativas não são constantes ao longo dos anos, tal como A10, que em 2016 chegou a ser o trecho com maior índice de mortes, e decaiu nos outros anos (Gráfico 5). Mostrando assim a necessidade de um estudo temporal, visto que o estudo de um único período ou a agregação de todos os períodos em um só não permite a análise da evolução das alternativas. Ao verificar o desempenho ao longo dos anos é possível identificar alterações que podem ser motivos de análises mais profundas.

Gráfico 2 – Número absoluto de ilesos (esquerda) e o Índice de ilesos (I_j) no trecho por ano (direita)



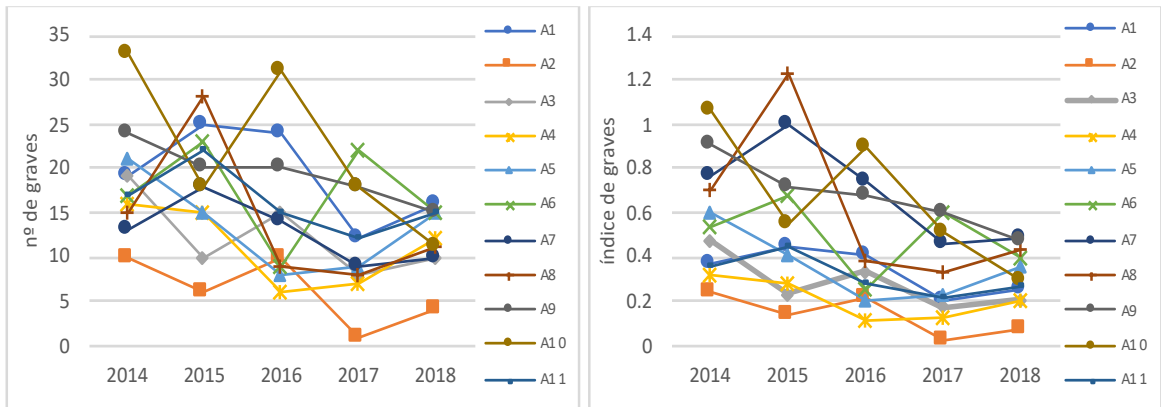
Fonte: o autor (2020)

Gráfico 3 - Número absoluto de feridos leves (esquerda) e o Índice de feridos leves (L_j) no trecho por ano (direita)



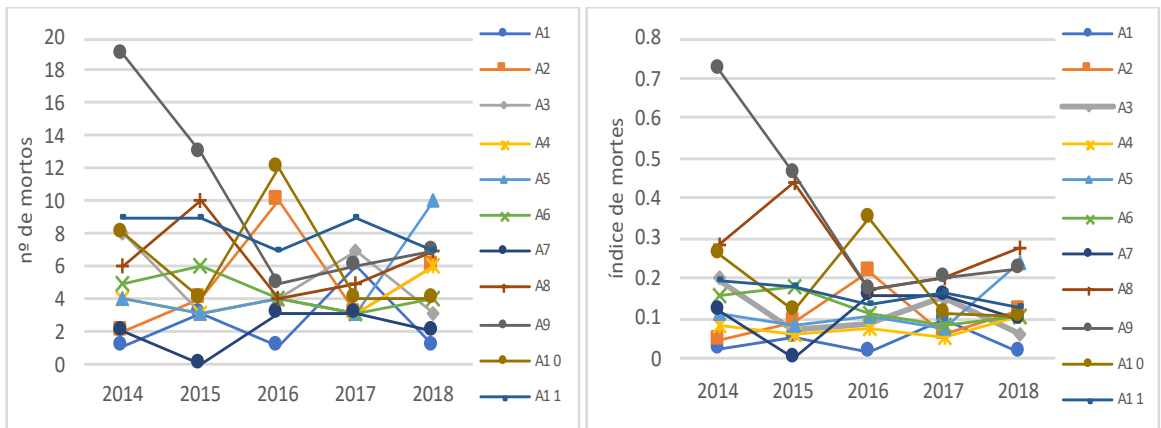
Fonte: o autor (2020)

Gráfico 4 - Número absoluto de feridos graves (esquerda) e o Índice de feridos graves (G_j) no trecho por ano (direita)



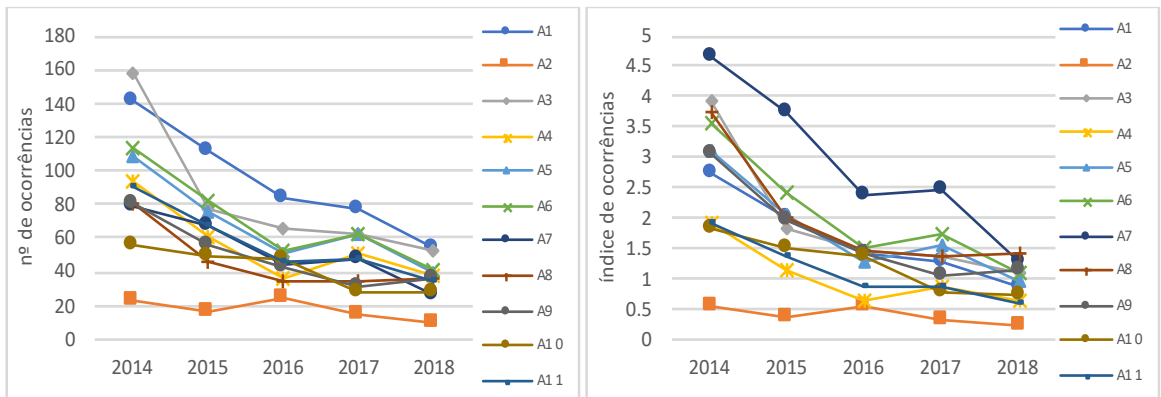
Fonte: o autor (2020)

Gráfico 5 - Número absoluto de mortos (esquerda) e o Índice de mortos (M_j) no trecho por ano (direita)



Fonte: o autor (2020)

Gráfico 6 - Número absoluto de acidentes (esquerda) e o Índice de acidentes (N_j) no trecho por ano (direita)



Fonte: o autor (2020)

Por outro lado, levando em consideração a qualidade do pavimento, da sinalização e da geometria, os quais quanto pior a classificação, maior o desempenho, dado que precisa de intervenção, tem-se que:

- A11 não é dominada por A8 e A9 devido ao desempenho classificado como “Regular” no quesito pavimento, no ano de 2018 (Tabela 7);
- Somente A2 foi considerada com o pavimento considerado “Ruim”, fato que ocorreu em 2014 (Tabela 7); entretanto sua classificação mudou chegando ao “Ótimo”. No mesmo ano, A2 foi considerado com uma geometria “Péssima”, única com essa classificação, posteriormente foi para “Regular”, “Ruim” e “Regular” (Tabela 9). Mostrando assim que os desempenhos não são estáticos;
- Os trechos tenderam a possuir sua melhor classificação no último período, exceto por A11, que foi de “Ótimo” para “Regular” e em geral, os pavimentos são de ótimo a bom (Tabela 7);
- Sobre a sinalização (Tabela 8), não existe nenhuma sinalização considerada “Ruim” ou “Péssima”, em compensação, a maioria são consideradas “Regular”;
- No que se refere a geometria, a grande maioria foi considerada “Regular”. A7 e A11 foram as que obtiveram uma classificação “Ruim” por mais tempo. Adicionalmente, somente A4 foi considerada “Bom”, isso somente em 2017 e 2018 (Tabela 9).

De modo geral, nota-se que o comportamento dos gráficos que consideram apenas os valores absolutos não necessariamente refletem os índices. Caso fosse considerado apenas esses critérios A11 seria dominada por A9 e A8, e por seu baixo desempenho é candidata a ficar nas últimas posições. Apesar de A7 ser predominante sobre A11 quando se trata do índice de ilesos, feridos leves e ocorrência; ela é superada por A11 no índice de óbitos (critério passível de alta importância), isso implica que desempenhos altos em critérios específicos não garante o mesmo desempenho nos outros. Os desempenhos variam com o tempo, sendo interessante a abordagem temporal de modo a agregar mais informações, deixando o resultado mais robusto. Adicionalmente, o estudo temporal permite a análise ano por ano, além do próprio resultado agregado, permitindo conhecer o desenvolvimento das alternativas ano por ano, e motivando novas análises para tomar conhecimento se houve algum causador para as mudanças.

Tabela 7 – Matriz de desempenho das alternativas referente ao critério Pavimento

Alternativa	2014	2015	2016	2017	2018
A1	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
A2	Ruim	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
A3	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
A4	Bom	Regular	Bom	Bom	Bom
A5	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
A6	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
A7	Ótimo	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo
A8	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo
A9	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
A10	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
A11	Bom	Bom	Bom	Ótimo	Regular

Fonte: o autor (2020)

Tabela 8 - Matriz de desempenho das alternativas referente ao critério Sinalização

Alternativa	2014	2015	2016	2017	2018
A1	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A2	Regular	Regular	Bom	Bom	Bom
A3	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A4	Regular	Regular	Regular	Bom	Bom
A5	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A6	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A7	Regular	Regular	Regular	Regular	Bom
A8	Regular	Bom	Regular	Regular	Bom
A9	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A10	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A11	Bom	Bom	Regular	Bom	Bom

Fonte: o autor (2020)

Tabela 9 - Matriz de desempenho das alternativas referente ao critério Geometria

Alternativa	2014	2015	2016	2017	2018
A1	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A2	Péssimo	Regular	Regular	Ruim	Regular
A3	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A4	Ruim	Regular	Regular	Bom	Bom
A5	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A6	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A7	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Regular
A8	Ruim	Regular	Regular	Regular	Regular
A9	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A10	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
A11	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Ruim

Fonte: o autor (2020)

6.2 Aplicação do SAD em Pernambuco

Para exemplificar o uso do SAD foi utilizado como objeto de estudo alternativas que correspondem a 11 trechos das rodovias federais do estado de Pernambuco. Além do mais, o horizonte de tempo utilizado foram os 5 anos, especificamente os dados dos anos 2014 a 2018; onde, dentro do SAD, o primeiro período (2014) corresponde a T1 e o último (2018) a T5.

Os dados referentes a cada período foram inseridos na tela de entrada (Figura 8), seguindo a ordem do período mais antigo ao mais recente. A Figura 11 exemplifica o formato dos dados de entrada, sendo estes correspondentes ao ano de 2014 (T1). Como pode ser visto, da segunda até a sexta e as duas últimas colunas a entrada é quantitativa, enquanto da sétima a nona (características da via) são qualitativas, com as seguintes opções de entrada: Péssimo, Ruim, Regular, Bom, Ótimo. Frisa-se que os valores quantitativos não correspondem aos desempenhos nos critérios, mas sim as variáveis que irão compor os índices que representam as performances dentro dos critérios.

Figura 11 – SAD: dados das onze alternativas analisadas (Pernambuco)

Alternativas	Ileso	Ferido Leve	Ferido Grave	Morto	Ocorrência	Pavimento	Sinalização	Geometria	VMDa	Extensão
A1	235	64	19	1	142	Bom	Regular	Regular	7839,88505	18,2
A2	17	8	10	2	22	Ruim	Regular	Péssimo	2110,58709	53,7
A3	223	46	19	8	158	Bom	Regular	Regular	6889,92671	16
A4	143	29	16	4	94	Bom	Regular	Ruim	17835,3899	7,6
A5	150	41	21	4	108	Bom	Regular	Regular	7343,32436	13
A6	139	57	17	5	113	Bom	Regular	Regular	7784,91555	11,2
A7	102	31	13	2	79	Ótimo	Regular	Ruim	2455,50975	19
A8	98	32	15	6	80	Bom	Regular	Ruim	2815,84128	20,8
A9	105	45	24	19	80	Bom	Regular	Regular	2332,13823	30,9
A10	61	24	33	8	56	Bom	Regular	Regular	2188,91399	38,8
A11	121	30	17	9	90	Bom	Bom	Ruim	1786,4679	72

Add período
Finalizar

Período= 1

Fonte: o autor (2020)

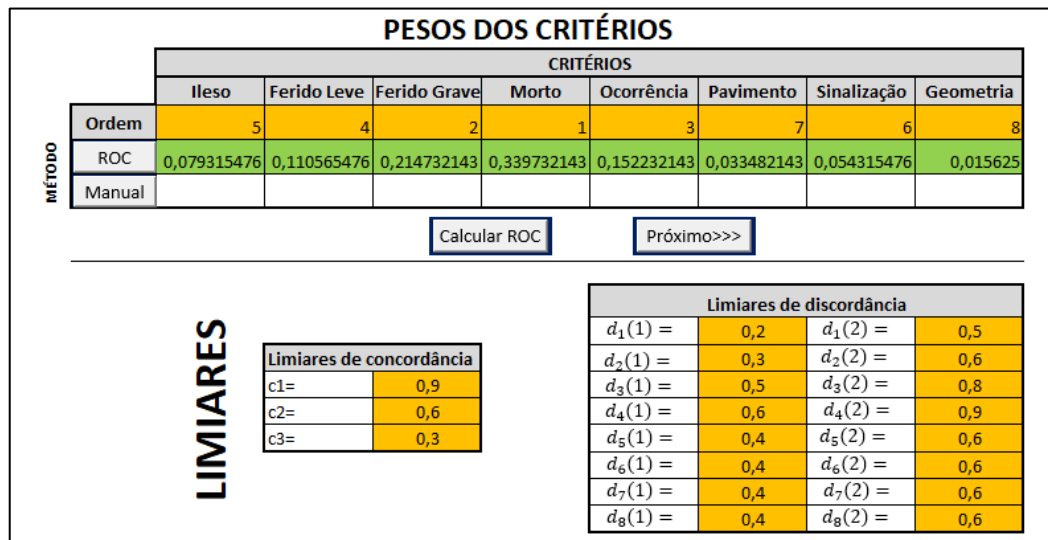
Ao finalizar a entrada, a próxima etapa é definir o peso dos critérios e os limiares. Neste exemplo foram utilizados os valores que seguem na Figura 12, sendo o método utilizado para o estabelecimento dos pesos o ROC, como destacado em verde na ilustração. O critério com índice 1 representa o critério mais importante e 8, o menos importante, em outras palavras, o critério “Morto” (índice de mortalidade) é o mais importante e “Geometria”, o menos importante.

Semelhantemente, os pesos foram estabelecidos para os períodos através do ROC, marcado em verde (Figura 13), onde quanto mais recente o período (índice maior), maior importância é dada para o período. Nela é possível ver também os valores definidos pelos outros

métodos de estabelecimento de pesos, dando a opção ao usuário visualizá-los, mudar parâmetros e escolhe-los.

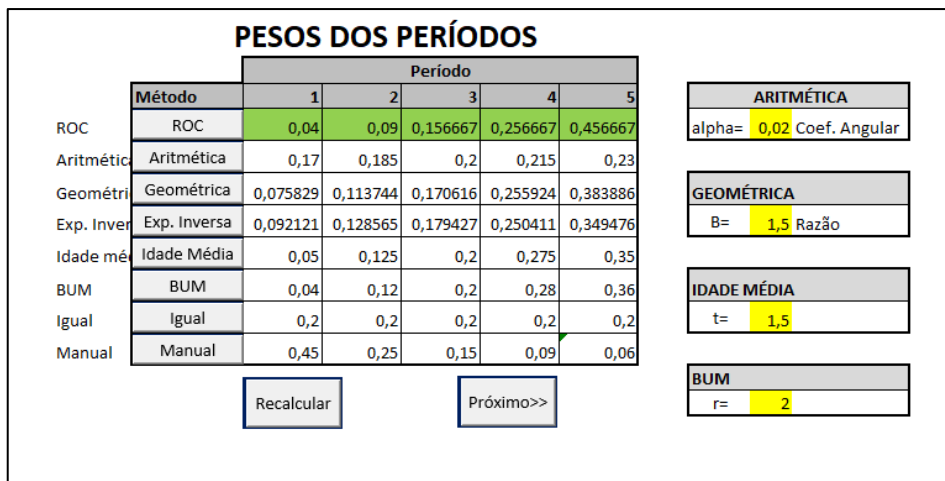
O Gráfico 7 ilustra o comportamento dos valores obtidos pelos métodos de acordo com os parâmetros. Como é possível notar, o ROC é o que dá mais importância ao último período, seguido pela sequência geométrica; já a sequência aritmética é aquela que possui os valores mais balanceados entre os períodos, além da própria distribuição igual dos valores nos períodos. Vale lembrar que os valores obtidos pelo o ROC e a exponencial inversa são fixos, enquanto os demais métodos dependem de parâmetros fornecidos pelo decisor.

Figura 12 - Pesos e limiares definidos pelo decisor (Pernambuco)



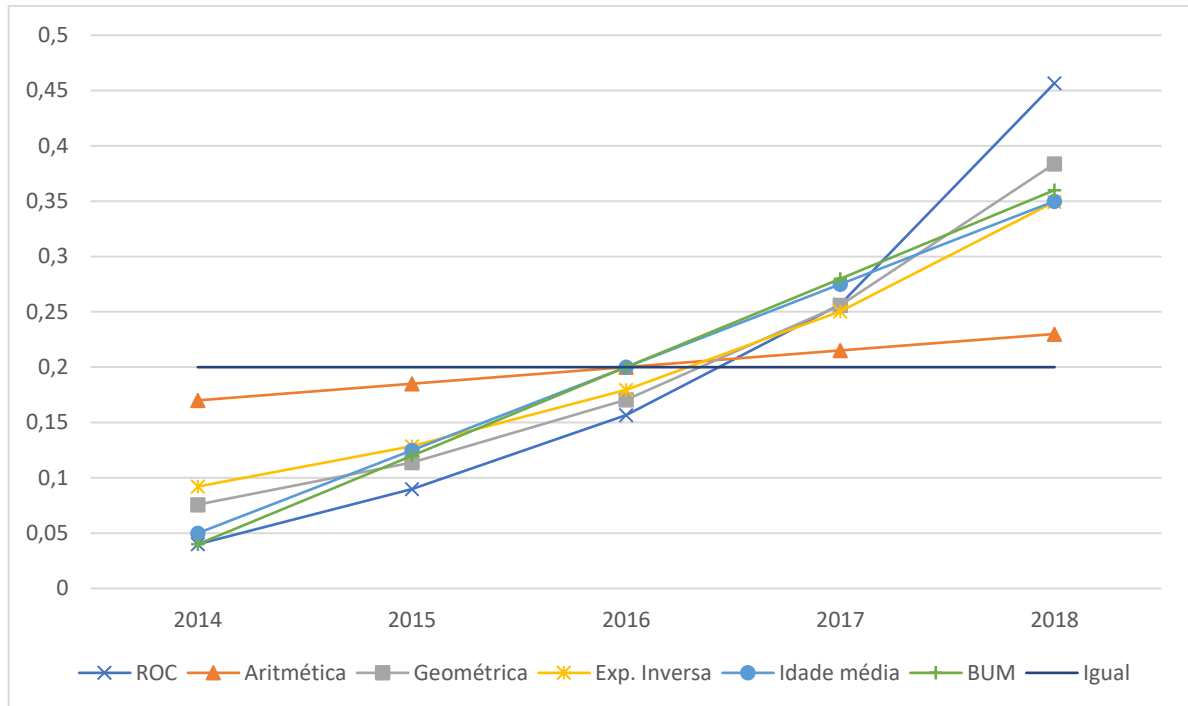
Fonte: o autor (2020)

Figura 13 - Peso dos períodos definidos pelo decisor (Pernambuco)



Fonte: o autor (2020)

Gráfico 7 - Gráfico dos pesos dos períodos



Fonte: o autor (2020)

Como foi dito na seção da análise descritiva dos trechos utilizados, cada período possui suas próprias particularidades; correspondentemente, através da Figura 14 fica claro esta afirmação, isso porque nenhum resultado é repetido de forma integral ao longo dos períodos, incluindo o resultado do MUPOM. O que acontece é que algumas alternativas mantêm sua posição, nomeadamente os trechos A2 e, também, o trecho A4; em contrapartida, alguns trechos apresentam grandes variações de um ano para o outro, tal como A3 que vai da 1ª posição a penúltima, voltando para 2º no ano posterior; a observação de variações como essa, pode ser motivo para novos estudos de modo a identificar o que ocasionou tal mudança, mostrando assim a importância do estudo temporal. E por fim, pelo menos uma vez, as alternativas A1, A3, A6, e A9 ficaram na primeira posição; sendo que 2 delas terminaram entre as três mais críticas.

Além disso, é importante destacar a importância (peso) dada a cada período, visto que para este exemplo, o resultado do MUPOM é semelhante ao resultado de T5, isso porque a importância dada a este ano é bem maior que a dos outros períodos (0,2 a mais que T4, por exemplo).

Como resultado, o trecho mais crítico é a alternativa A9 (ENTR PE-180 (Belo Jardim) - ENTR PE-217 (Pesqueira)), seguido por A6 (ENTR PE-078 - ENTR PE-087 (Gravatá)) e A8 (ENTR PE-158 (Jupí) - ENTR PE-177 (P/Quipapa)).

Figura 14 – Ranking final das alternativas (Pernambuco)

RESULTADO RESUMIDO						
Alternativas	T1	T2	T3	T4	T5	MUPOM
A1	6	2	5	1	5	5
A2	11	11	9	11	11	11
A3	1	10	2	2	7	8
A4	10	9	11	10	8	10
A5	7	6	10	8	4	4
A6	3	1	7	3	2	2
A7	8	5	4	4	10	9
A8	4	2	8	8	3	3
A9	1	2	3	5	1	1
A10	4	8	1	7	8	7
A11	9	7	5	5	6	6

Detalhar

Finalizar

Pesos

Período

Fonte: o autor (2020)

Como última etapa do SAD, tem-se a interface que mostra o resultado detalhado do procedimento. Estes resultados para a presente aplicação são ilustrados a partir das Figura 15 até Figura 20. A saída destas telas contém os resultados detalhados de cada período e do MUPOM, e através deles é possível notar que: A2 só não é sobreclassificada por todas as outras alternativas apenas em T3 e sofre uma preferência forte por todas as outras alternativas no resultado final; A9 (trecho mais crítico) não sofre preferência a nenhuma outra alternativa no resultado final e em T1 e T5 (períodos de início e fim da análise); no período T3, instante em que ficou na segunda posição, A10 não sofre nenhuma preferência.

É através dessa tela que é possível construir o subconjunto das “melhores” alternativas, que neste exemplo é composto apenas pela alternativa A9 (Figura 15), a qual não sofre nenhuma preferência de nenhuma outra alternativa.

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

RESULTADO DETALHADO								
Resumido		Finalizar		Pesos		Período		
MUPOM								
Alternativas	$\Psi^{++}(a_i)$	$\Psi^{--}(a_i)$	$\Psi^{+}(a_i)$	$\Psi^{-}(a_i)$	$\Psi^{*}(a_i)$	Nisol	$\pi(a_i)$	Ordem
A1	3	1	1	3	0	2	1	5
A2	0	10	0	0	0	0	-10	11
A3	2	4	0	0	0	3	-2	8
A4	1	8	0	0	0	1	-7	10
A5	4	2	2	0	0	2	3	4
A6	8	0	0	2	0	0	7	2
A7	2	5	1	1	0	1	-3	9
A8	5	1	1	1	0	2	4	3
A9	8	0	2	0	0	0	9	1
A10	3	4	1	2	0	0	-1,5	7
A11	2	3	1	1	0	3	-1	6

MUPOM											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	x	P	Q-	P	R	P-	Q-	R	Q-	Q	P
A2	P-	x	P-	P-	P-	P-	P-	P-	P-	P-	P-
A3	Q	P	x	R	R	P-	P	P-	P-	P-	R
A4	P-	P	R	x	P-	P-	P-	P-	P-	P-	P-
A5	R	P	R	P	x	P-	P	Q	P-	P	Q
A6	P	P	P	P	P	x	P	Q-	Q-	P	P
A7	Q	P	P-	P	P-	P-	x	P-	P-	Q-	R
A8	R	P	P	P	Q-	Q	P	x	P-	P	R
A9	Q	P	P	P	P	Q	P	P	x	P	P
A10	Q-	P	P	P	P-	P-	Q	P-	P-	x	Q-
A11	P-	P	R	P	Q-	P-	R	R	P-	Q	x

Fonte: o autor (2020)

Figura 16 - Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T1

T1									
Alternativas	$\Psi^{++}(a_i)$	$\Psi^{--}(a_i)$	$\Psi^{+}(a_i)$	$\Psi^{-}(a_i)$	$\Psi^{*}(a_i)$	Nisol	$\pi(a_i)$	Ordem	
A1	3	0	0	6	0	0	1	0	6
A2	0	10	0	0	0	0	0	-10	11
A3	7	0	2	0	0	0	1	8	1
A4	1	8	0	0	0	0	1	-7	10
A5	3	4	2	1	0	0	0	-0,5	7
A6	4	2	2	2	0	0	0	2	3
A7	1	1	1	4	0	3	-1,5	8	8
A8	3	2	3	2	0	0	1,5	4	4
A9	7	0	2	0	0	0	1	8	1
A10	2	1	3	2	0	2	1,5	4	4
A11	2	5	2	0	0	0	1	-2	9

T1											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	x	P	-Q	P	-Q	-Q	-Q	-Q	-Q	R	P
A2	-P	x	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P
A3	Q	P	x	P	P	P	P	P	R	Q	P
A4	-P	P	-P	x	-P	-P	R	-P	-P	-P	-P
A5	Q	P	-P	P	x	-P	Q	-P	-P	-Q	P
A6	Q	P	-P	P	P	x	Q	-Q	-P	-Q	P
A7	Q	P	-P	R	-Q	-Q	x	-Q	-Q	R	R
A8	Q	P	-P	P	P	Q	Q	x	-P	-Q	-Q
A9	Q	P	R	P	P	Q	Q	P	x	P	P
A10	R	P	-Q	P	Q	Q	Q	Q	-P	x	-Q
A11	-P	P	-P	P	-P	-P	R	Q	-P	Q	x

Fonte: o autor (2020)

Figura 17 - Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T2

T2									
Alternativas	$\Psi^{++}(a_i)$	$\Psi^{--}(a_i)$	$\Psi^{+}(a_i)$	$\Psi^{-}(a_i)$	$\Psi^{*}(a_i)$	Nisol	$\pi(a_i)$	Ordem	
A1	5	0	3	2	0	0	5,5	2	
A2	0	10	0	0	0	0	0	-10	11
A3	1	9	0	0	0	0	0	-8	10
A4	2	8	0	0	0	0	0	-6	9
A5	3	1	0	3	0	3	0,5	6	
A6	8	0	1	1	0	0	0	8	1
A7	4	1	1	3	0	1	2	5	
A8	5	1	3	0	0	1	5,5	2	
A9	6	1	2	1	0	0	5,5	2	
A10	3	6	0	0	0	1	-3	8	
A11	4	4	0	0	0	2	0	7	

T2											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	x	P	P	P	Q	-Q	Q	-Q	Q	P	P
A2	-P	x	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P
A3	-P	P	x	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P
A4	-P	P	P	x	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P
A5	-Q	P	P	P	x	-P	-Q	R	-Q	R	R
A6	Q	P	P	P	P	x	P	-Q	P	P	P
A7	-Q	P	P	P	Q	-P	x	-Q	-Q	P	R
A8	Q	P	P	P	R	Q	Q	x	-P	P	P
A9	-Q	P	P	P	Q	-P	Q	P	x	P	P
A10	-P	P	P	P	R	-P	-P	-P	-P	x	-P
A11	-P	P	P	P	R	-P	R	-P	-P	P	x

Fonte: o autor (2020)

Figura 18 - Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T3

T3									
Alternativas	$\Psi^{++}(a_i)$	$\Psi^{--}(a_i)$	$\Psi^{+}(a_i)$	$\Psi^{-}(a_i)$	$\Psi^{*}(a_i)$	Nisol	$\pi(a_i)$	Ordem	
A1	3	0	1	4	0	2	1,5	5	
A2	0	4	0	2	0	4	4	-5	9
A3	5	0	2	0	0	3	6	2	
A4	0	9	0	0	0	1	-9	11	
A5	1	7	0	1	0	1	-6,5	10	
A6	3	3	1	2	0	1	-0,5	7	
A7	3	0	3	3	0	1	3	4	
A8	2	3	0	2	0	3	-2	8	
A9	4	0	2	2	0	2	4	3	
A10	5	0	4	0	0	1	7	1	
A11	2	2	3	0	0	3	1,5	5	

T3											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	x	Q	-Q	P	P	-Q	-Q	R	R	-Q	P
A2	-Q	x	-P	R	R	R	-Q	R	-P	-P	-P
A3	Q	P	x	P	P	P	Q	P	R	R	R
A4	-P	R	-P	x	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P
A5	-P	R	-P	P	x	-P	-P	-P	-P	-P	-Q
A6	Q	R	-P	P	P	x	-P	P	-Q	-P	-Q
A7	Q	Q	-Q	P	P	P	x	Q	-Q	-Q	R
A8	R	R	-P	P	P	-P	-Q	x	-P	-Q	R
A9	R	P	R	P	P	Q	Q	P	x	-Q	-Q
A10	Q	P	R	P	P	P	Q	Q	Q	x	P
A11	-P	P	R	P	Q	Q	R	R	Q	-P	x

Fonte: o autor (2020)

Figura 19 - Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T4

T4									
Alternativas	$\Psi^{++}(a_i)$	$\Psi^{--}(a_i)$	$\Psi^{+}(a_i)$	$\Psi^{-}(a_i)$	$\Psi^{*}(a_i)$	Nisol	$\pi(a_i)$	Ordem	
A1	6	0	3	1	0	0	7	1	
A2	0	10	0	0	0	0	0	-10	11
A3	4	0	3	0	0	0	3	5,5	2
A4	1	9	0	0	0	0	0	-8	10
A5	2	2	0	3	0	3	-1,5	8	
A6	4	0	1	1	0	4	4	3	
A7	3	0	1	2	0	4	2,5	4	
A8	2	3	2	3	0	0	-1,5	8	
A9	2	2	3	0	0	3	1,5	5	
A10	2	1	0	4	0	3	-1	7	
A11	2	1	2	1	0	4	1,5	5	

T4											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	x	P	-Q	P	Q	Q	Q	P	P	P	P
A2	-P	x	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P
A3	Q	P	x	P	Q	R	R	P	Q	Q	R
A4	-P	P	-P	x	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P
A5	-Q	P	-Q	P	x	-P	-P	-Q	R	R	R
A6	-Q	P	R	P	P	x	Q	P	R	R	R
A7	-Q	P	R	P	P	-Q	x	Q	R	R	R
A8	-P	P	-P	P	Q	-P	-Q	x	-Q	Q	-Q
A9	-P	P	-P	P	R	R	R	Q	x	Q	Q
A10	-P	P	-Q	P	R	R	R	-Q	-Q	x	-Q
A11	-P	P	R	P	R	R	R	Q	-Q	Q	x

Fonte: o autor (2020)

Figura 20 - Cardinalidade dos conjuntos, relações de preferência e ranking no período T5

T5								T5											
Alternativas	$\Psi^{++}(a_i)$	$\Psi^{--}(a_i)$	$\Psi^{+}(a_i)$	$\Psi^{-}(a_i)$	$\Psi^{*}(a_i)$	Nisol	$\pi(a_i)$	Ordem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	2	1	2	3	0	2	0,5	5	x	P	-Q	P	R	-P	-Q	R	-Q	Q	Q
A2	0	10	0	0	0	0	-10	11	-P	x	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P	-P
A3	2	4	1	0	0	3	-1,5	7	Q	P	x	R	R	-P	P	-P	-P	-P	R
A4	2	6	1	0	0	1	-3,5	8	-P	P	R	x	-P	-P	Q	-P	-P	P	-P
A5	4	1	2	1	0	2	3,5	4	R	P	R	P	x	-Q	P	Q	-P	P	Q
A6	7	0	1	2	0	0	6,5	2	P	P	P	P	Q	x	P	-Q	-Q	P	P
A7	1	5	1	3	0	0	-5	10	Q	P	-P	-Q	-P	-P	x	-P	-P	-Q	-Q
A8	5	1	1	1	0	2	4	3	R	P	P	P	-Q	Q	P	x	-P	P	R
A9	8	0	2	0	0	0	9	1	Q	P	P	P	P	Q	P	x	P	P	P
A10	2	5	1	2	0	0	-3,5	8	-Q	P	P	-P	-P	Q	-P	-P	x	-Q	
A11	2	2	2	2	0	2	0	6	-Q	P	R	P	-Q	-P	Q	R	-P	Q	x

Fonte: o autor (2020)

De modo geral, através destes resultados é possível analisar quais são as alternativas que sofrem ou possuem preferências sobre a outra, quantas são alternativas que estão em cada conjunto para cada trecho, a “pontuação” de cada alternativa e a ordem, isso para o MUPOM e para cada ano.

Por permitir a definição de diferentes valores para os pesos, tanto para os períodos quanto para os critérios, seja por métodos pré-estabelecidos, como por inserção manual, ele permite a flexibilização e facilitação do estabelecimento dos mesmos, diminuindo o esforço cognitivo do decisor e permitindo que diferentes resultados sejam gerados com a variação dos pesos. Podendo assim observar o impacto dos critérios e períodos nos resultados, como também se adaptando as preferências do decisor.

Através desta aplicação do SAD, mostra-se o funcionamento do mesmo, assim como as telas de entrada e saída ficam ao serem preenchidas. De modo geral, a interface simples permite com que os locais onde usuário preenche os dados de entrada fique explícito (já que as células a priori estão vazias). Já para a saída, os resultados são mostrados por meio dos próprios valores e cores selecionados de acordo com o valor, o que facilita a visualização e consequente interpretação dos resultados por parte do usuário.

Em suma, este SAD, permite com que decisões sejam melhor norteadas, tomando como referência os resultados do SAD; por meio deles, órgãos responsáveis podem dedicar esforços aos trechos considerados mais críticos, buscando assim uma melhor utilização dos recursos disponíveis; em outras palavras, através deste estudo de caso, os responsáveis pela segurança no trânsito podem diminuir o risco de acidentes em Pernambuco. Além disso, por mostrar o resultado de cada ano em separado, existe a possibilidade de que um em específico seja motivo de estudos mais aprofundados de modo a detectar a causa das variações, motivando assim novas pesquisas. Por fim, apesar do objeto de estudo ser rodovias pernambucanos, a pesquisa pode ser replicada para outros estados visto que a disponibilização dos dados é a mesma.

6.3 Análise de sensibilidade

Tendo como objetivo analisar a robustez do modelo e do resultado, principalmente sobre o impacto dos pesos dos períodos sob o resultado final, a importância da avaliação multiperíodo e multicritério, e a sensibilidade do resultado quanto a variação dos parâmetros; a análise de sensibilidade é dividida em duas etapas.

Na primeira são obtidos os resultados para cada método de definição de pesos dos períodos, de forma a compará-los; assim como são obtidos os resultados caso não fosse considerado a abordagem multiperíodo, e também considerando apenas um critério. Já na segunda etapa os parâmetros de entrada são alterados de forma a verificar a robustez do procedimento.

6.3.1 Análise de sensibilidade da característica multiperíodo

De forma a mostrar a importância do procedimento do estabelecimento dos pesos períodos, os diferentes métodos implementados no SAD foram testados. Como mostrado na Tabela 10, a qual mostra os resultados para os diferentes procedimentos de estabelecimento de pesos para o período, é notável que com a variação dos pesos dos períodos, os resultados também mudam.

Justificando algumas dessas mudanças, temos A3, por exemplo. De acordo com o ROC ela ocupa a 8ª posição, já no método aritmético é a 3ª, pesos distribuídos igualmente a 2ª e nas demais a 5ª. No ROC, que comparado aos outros métodos define uma grande importância para o período mais recente, o desempenho no último período (em que foi o 7º colocado) acabar por refletir na posição final. Já de acordo com o procedimento série aritmética e pesos iguais, a importância é distribuída mais uniformemente, de modo que a posição final foi semelhante a posição mais frequente em cada ano. Os demais métodos a colocam em um meio termo. O mesmo vale para A5.

Lembrando que o resultado final está de acordo com a performance $\pi(a_i)$, e não na posição dos anos anteriores; por outro lado, uma vez que a posição em cada ano reflete o desempenho das alternativas e as relações de preferências no período, e essas relações refletem no resultado final, para efeito de comparação é o suficiente.

Em contrapartida, existem alternativas que não mudam de posição não importa o método escolhido, nomeadamente A2, A4, A9, as quais são respectivamente a última, penúltima e primeira; mostrando assim que para este caso, a mudança do método não altera a posição da alternativa mais crítica, demonstrando assim sua alta performance nos critérios e

consequentemente maior criticidade, quando comparada as outras. Semelhantemente, o trecho A6 ocupou a 2ª posição na maioria dos métodos, exceto quando os pesos são distribuídos igualmente, onde ocupou a 3ª posição.

Tabela 10 - Comparação dos resultados para diferentes métodos de estimação dos pesos para os períodos

Alt.	MUPOM							2014 até 2018	Índice de acidentes	2018
	ROC	Aritm.	Geom.	Exp. Inversa	Idade média	BUM	Pesos iguais			
A1	5°	5°	4°	4°	3°	3°	5°	6°	7°	5°
A2	11°	11°	11°	11°	11°	11°	11°	11°	11°	11°
A3	8°	3°	5°	5°	5°	5°	2°	7°	4°	7°
A4	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	8°
A5	4°	9°	9°	9°	9°	9°	9°	9°	5°	4°
A6	2°	2°	2°	2°	2°	2°	3°	2°	2°	2°
A7	9°	6°	7°	6°	5°	5°	6°	7°	1°	10°
A8	3°	3°	3°	3°	4°	4°	4°	4°	3°	3°
A9	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	6°	1°
A10	7°	8°	6°	7°	7°	7°	8°	3°	8°	8°
A11	6°	7°	7°	8°	7°	7°	7°	5°	9°	6°

Fonte: o autor (2020)

Em resumo, destaca-se a importância da definição dos pesos dos períodos, estando estes de acordo com as preferências do decisor, uma vez que influenciam diretamente nos resultados.

Em adição aos resultados de cada método, foi verificado os resultados caso se agregasse todos os períodos em um só, ou seja, sem a avaliação multiperíodo. Pela Tabela 10, fica evidente que para este caso em específico não houveram alterações nas duas primeiras posições, nem nas duas últimas. Entretanto ocorrem alterações importantes como a de A10, que acaba por ocupar a 3ª posição, sendo que quando considerado a dimensão tempo ela fica entre a 6ª e a 8ª colocação, além de outras mudanças de posições. Por se tratar de uma problemática de ordenação, onde não necessariamente somente a primeira colocada é a escolhida, as mudanças de ordem são relevantes para decisor. Portanto, a avaliação multiperíodo produz resultados diferentes de uma avaliação sem considerar o fator tempo, pelo fato de agregar informações de preferências do decisor quanto a importância de cada período considerado.

Ademais, na Tabela 10 são mostrados também os resultados caso não se considerasse os diversos períodos e critérios; em outras palavras, é só avaliada uma única dimensão, que foi a de Índice de acidentes. Ficando explícito que os resultados são diferentes, exceto por A2, A4, A5, A6, A8 e A9. Além do que, alternativas importantes como A9, que foi a considerada mais

crítica pela abordagem multicritério e multiperíodo, passa a ser a 6ª colocada. Destaca-se então a importância de considerar as múltiplas dimensões envolvidas em acidentes, dado que uma única dimensão não consegue mostrar a real situação do trecho.

Por fim, olhando para apenas o ano 2018, o resultado que mais se assemelha a ele é o do ROC; visto que, comparado aos outros procedimentos, é o que estabelece maior importância para o último período. Ou seja, caso o decisor queira dar uma grande importância para períodos mais recentes, ele deveria escolher o ROC; já se ele não quiser diferenciar a importância dos períodos, tendo todos o mesmo impacto, escolheria pesos iguais, por exemplo.

Vale apontar também que pela série aritmética, geométrica, idade média, BUM e considerando um único ano, ocorreram empates entre as algumas alternativas.

Com o objetivo de comparar os *rankings* definidos pelos diferentes métodos foi utilizado o coeficiente de concordância de *rank* (Kendall W). Foram realizadas comparações envolvendo todos os rankings de todos os métodos temporais simultaneamente, como também par-a-par. Os resultados gerados pelo método encontram-se no Apêndice B.

De modo geral, quando comparados todos os procedimentos juntos, tem-se como resultado uma alta concordância entre os *rankings*. Entretanto, o mesmo não vale quando a análise é feita par-a-par. Apesar de ter um valor de coeficiente de concordância relativamente alto, com w entre 0,8 e 0,9, o ROC quando comparados com os outros é o que possui o menor coeficiente, sendo o único com valor abaixo de 0,9; ou seja, dentre os métodos, ele é o que possui o resultado mais diferenciado; além disso, o valor- p resultante das análises são altos ($p > 0,05$); isso significa que a um nível de significância de 5%, não há indícios suficientes para rejeitar a hipótese de que o *rankings* são randômicos (isto é, não há uma real concordância entre eles).

Com essa exceção do ROC, a comparação par-a-par entre os outros métodos demonstrou que existe concordância entre os resultados para um nível de significância de 5%, ou seja, rejeita-se a hipótese de que os *rankings* são distribuídos de forma randômica.

Já quando estudado a concordância dos *rankings* gerados pela abordagem temporal com os resultados caso se agregasse em um único período, nota-se que apenas o resultado do método geométrico demonstra concordância com o mesmo, os demais ou possuem um valor de concordância baixo (aritmética, exponencial inversa, BUM), ou possuem um valor- p alto (ROC, idade média e pesos iguais).

6.3.2 Análise de sensibilidade da influência dos parâmetros de preferência sobre o resultado

Com o intuito de verificar a sensibilidade dos resultados mostrados no estudo de caso, tanto o peso dos períodos, quanto o peso dos critérios e os valores de concordância e discordância foram alterados aleatoriamente dentro de certos limites; foi então utilizado a simulação de Monte Carlo, sendo simuladas 10.000 iterações para cada faixa de variação.

Primeiramente os parâmetros foram alterados em até 1% dos valores bases; posteriormente variaram em até 5%, 10%, até 50%. Para os pesos, os valores bases foram alterados através do incremento de uma porcentagem aleatória (dentro dos limites) no valor original, e depois normalizados de modo a soma dos pesos serem igual a 1. Os valores base para os pesos dos critérios são os do ROC, expressos na Figura 12, na qual se encontra também os valores dos índices; já os valores base para o peso dos períodos são os definidos pelo ROC (Figura 13).

Já para os índices de concordância e discordância, os índices variavam aleatoriamente dentro de um limite superior e inferior, os quais eram determinados pela porcentagem limite máxima do teste; por exemplo, para uma variação de 5%, o valor do incidisse era incrementado e decrementado em 5%, e o índice iria variar dentro da faixa de valores resultantes. Além disso, tanto para os índices quanto para os pesos, foi respeitado a ordem pré-estabelecida

Com base nas 10.000 iterações foram construídas tabelas as quais mostram a porcentagem de vezes que cada alternativa ficou em determinada posição; sendo possível então determinar o quanto as alternativas mudaram de posição para cada intervalo de variação (Apêndice C), resumidas na Tabela 11.

De modo geral, a alternativa A9 (primeira colocada) permaneceu inalterada até a variação de 20%, quando em 1% das vezes ela assumiu a segunda posição, perdendo o lugar para o trecho A6, nas outras 99% das iterações ela manteve a posição, mantendo este desempenho até uma variação de 40%. De forma semelhante, para uma variação de 45% e 50% ela ficou na segunda posição em respectivamente 3% e 5% das vezes. Tais resultados mostram que é necessário haver uma grande variação nos parâmetros input para alterar a posição do trecho considerado mais crítico; ou seja, o resultado é robusto para A9. O mesmo vale para a última alternativa, A11, o qual não mudou de posição na simulação Monte Carlo.

Já no que se refere da segunda e até a quarta posição, o que ocorre é que A5 (quarta colocada), A6 (segunda posição) e A8 (terceira colocada) revezam as posições. Através da Tabela 11 que mostra a colocação e a participação das seis alternativas mais críticas nas variações de 1% a 30%; nota-se que A5 é o trecho com maior amplitude de variação, tendo uma variação significativa a partir dos 5%; variação a qual a coloca na 3ª (19%), 4ª(68%), e 5ª(12%); sendo assim, mais sensível as variações.

Por outro lado, A6 possui uma baixa amplitude de variação ficando sempre entre as quatro mais críticas, sem grandes variações, dado que em média fica com pelo menos 87% das vezes em segundo para cada intervalo; tendo assim um resultado mais robusto. Semelhantemente, A8 demonstra uma robustez, tendo variação apenas para as posições vizinhas, onde no mínimo 73% ocupa sua posição de origem, 3ª posição.

Resumidamente, mesmo as alternativas mais críticas variando, elas costumam variar para posições adjacentes a ela, garantindo assim a confiança no resultado. Vale ressaltar que duas alternativas podem coincidir na mesma posição, como é o caso de A5 e A8, que ocupam muitas vezes a 3ª posição.

Tabela 11 – Resultado da análise de sensibilidade para as alternativas A5, A6, A8 e A9

Variação (%)	1º	2º	3º	4º	5º	6º
0%	A9(100%)	A6(100%)	A8(100%)	A5(100%)	A1(100%)	A11(100%)
1%	A9(100%)	A6(100%)	A5(1%) A8(99%)	A5(99%) A8(1%)	A1(100%)	A10(48%) A11(76%)
5%	A9(100%)	A6(100%)	A5(19%) A8(81%)	A1(16%) A5(68%) A8(19%)	A1(82%) A5(12%) A11(4%)	A1(2%) A7(11%) A10(24%) A11(82%)
10%	A9(99%) A6(1%)	A6(98%) A8(2%)	A5(20%) A8(82%)	A1(26%) A5(61%) A8(16%)	A1(66%) A5(18%) A11(16%)	A1(8%) A3(1%) A7(16%) A10(15%) A11(72%)
15%	A9(98%) A6(2%)	A5(2%) A6(95%) A8(7%)	A5(18%) A6(3%) A8(81%)	A1(23%) A5(64%) A8(12%) A11(1%)	A1(65%) A3(1%) A5(16%) A11(22%)	A1(11%) A3(10%) A7(16%) A10(9%) A11(64%)
20%	A9(98%) A6(2%)	A5(3%) A6(92%) A8(10%) A9(1%)	A5(17%) A6(6%) A8(79%)	A1(24%) A5(62%) A8(11%) A11(1%)	A1(65%) A3(1%) A5(17%) A7(2%) A11(21%)	A1(11%) A3(16%) A5(2%) A7(14%) A10(7%) A11(60%)
25%	A9(98%) A6(2%)	A5(4%) A6(90%) A8(13%) A9(1%)	A5(16%) A6(8%) A8(76%)	A1(26%) A5(60%) A6(1%) A7(1%) A8(11%) A11(2%)	A1(62%) A3(2%) A5(16%) A7(3%) A10(1%) A11(56%)	A1(12%) A3(20%) A5(3%) A7(12%) A10(5%) A11(56%)
30%	A9(98%) A6(2%)	A5(5%) A6(87%) A8(13%) A9(1%)	A1(1%) A5(16%) A6(9%) A8(73%)	A1(25%) A3(1%) A5(54%) A6(1%) A7(1%) A8(13%) A11(4%)	A1(58%) A3(4%) A5(16%) A7(3%) A10(1%) A11(26%) A11(52%)	

Fonte: o autor (2020)

Em suma, a análise de sensibilidade mostrou que o resultado para a alternativa que ocupou a primeira e última posição é robusto, visto que foram necessárias grandes variações nos parâmetros para alterá-las. Adicionalmente, foi demonstrado que até uma variação de 25%, mesmo havendo alterações, para as quatro mais críticas, as mudanças são em sua maioria para posições adjacentes, não tendo assim um grande impacto; além disso, apenas A9, A6, A8 e A5 ocupam as três primeiras posições até 25% de variação. De modo geral, o modelo utilizado se mostrou robusto por não ser sensível a variações, sendo os resultados de maior interesse inalterados para variações não muito grandes.

7 CONCLUSÕES

Primeiramente, de modo geral, o SAD proposto cumpriu com o objetivo de fornecer uma ferramenta que possa apoiar a decisão relacionada à determinação de trechos críticos, fornecendo um ordenamento da criticidade dos mesmos. Além disso, o SAD mostra flexibilidade para se adaptar às preferências do decisor, isso porque além de fornecer métodos pré-estabelecidos para que se possa verificar aquele que mais se aproxima às suas preferências, o mesmo pode defini-los manualmente. Ressalta-se que o SAD não descarta a presença de um analista, visto, principalmente, a grande quantidade de informações a serem inseridas e a importância da definição dos pesos para o resultado, onde o resultado deve estar de acordo com as preferências do decisor; além da própria interpretação dos resultados.

Além disso, o uso de uma abordagem multicritério se mostrou apropriada ao problema, dado que a criticidade dos trechos não deve ser expressada através de uma única dimensão; conseqüentemente, é necessário tratar o problema através de diversos critérios, sendo que esses critérios podem ter diferentes graus de importância a depender do tomador de decisão. Já para a utilização de uma abordagem multiperíodo, ela se mostra útil por agregar mais informações ao resultado, deixando-o mais abrangente, sendo respeitada a preferência do decisor. Quanto ao uso de diferentes períodos, foi percebido um resultado diferente caso não fosse verificada a dimensão tempo, ou seja, caso não fosse considerado essa dimensão, o resultado poderia não atender de forma fidedigna ao decisor.

Sobre os critérios utilizados, os mesmos se mostraram relevantes de tal modo que eles além de representarem a própria acidentalidade, considerando o volume de tráfego e extensão da via, também incorpora informações sobre o trecho em si.

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. Conseqüentemente, é um sistema efetivo de acordo com a finalidade para o qual foi desenvolvido.

Sendo assim, dado a importância que os acidentes de trânsito possuem, principalmente no Brasil que possui uma extensa malha rodoviária, a utilização do SAD aqui mostrado permite a redução do risco de acidentes, já que dentro de um conjunto de trechos, 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.

7.1 Contribuições

Em resumo, este estudo contribui para sociedade por trazer um sistema que auxilie na priorização dos trechos críticos, permitindo com que os mesmos recebam a devida atenção por parte dos interessados diminuindo o risco de acidentes; ou seja, o número de vítimas e a severidade dos acidentes podem decair. Para os interessados de forma direta (decisores), o sistema possibilita que recursos sejam melhores direcionados, contribuindo assim para distribuição efetiva e na economia dos mesmos. Além disso, a diminuição do risco de acidentes faz com que os custos causados pelos acidentes diminuam.

Por fim, o estudo contribui para a literatura brasileira pelo desenvolvimento do modelo que pode ser replicado em outros estados, visto que a disponibilidade e acessibilidade dos dados é a mesma em todo o país. Como também, o trabalho contribui para a literatura internacional por trazer uma nova abordagem para o tema, tanto na questão do desenvolvimento critérios utilizados, quanto para a modelagem do problema, por trazer uma abordagem multicritério em conjunto de uma visão multiperíodo.

7.2 Limitações e trabalhos futuros

Como barreira para a construção do modelo tem-se que os critérios foram limitados àqueles os quais é possível a obtenção dos dados; por exemplo, o modelo poderia ser beneficiado caso fosse possível obter informações sobre o fluxo de pedestres (envolvido mais vulnerável); semelhantemente ocorre para o estudo caso, onde não foi possível obter o VMDa de todos os anos, assim como a qualidade de cada trecho em separado.

Por fim, no que diz respeito a limitação do SAD construído, o SAD não possui um módulo para análise de sensibilidade sendo difícil determinar o efeito da variação dos parâmetros nos resultados; apesar da análise de sensibilidade ter sido realizada neste trabalho, ela foi feita em separado, independente do SAD, de modo a verificar a robustez do modelo utilizado de acordo com os resultados.

Já para trabalhos futuros, se faz interessante:

- Implementar um módulo que utilize de modelos aditivos, para caso o decisor possua uma racionalidade compensatória; assim como outras implementações, tais como: análise de sensibilidade e visualizações gráficas;
- Avaliar como o modelo e o SAD pode ser enriquecido a partir de novas abordagens, como por exemplo, decisão em grupo e lidar com incertezas;
- Analisar a abordagem multiperíodo, de forma a determinar quantos períodos são necessários para a decisão e estudar quais as possíveis decisões são apropriadas para

cada horizonte de tempo; como também mensurar como a consideração de um horizonte de tempo mais longo e mais curto impacta nos resultados;

- Tendo em vista a reprodutibilidade deste estudo, a aplicação do SAD em novos estados e regiões se mostra proveitoso de modo a analisar os resultados em uma nova realidade, gerando novos estudos de caso;
- Avaliar o uso do sistema por terceiros para verificação da usabilidade;
- Estudar os meios pra elicitação das preferências do decisor, tanto para os pesos dos critérios quanto para os períodos, dado as complicações inerentes ao problema devido a se tratar de vidas humanas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. F. M.; MOREIRA, M. E. P. Hierarquização de locais para implantação de sinalização viária para a promoção de segurança utilizando a metodologia mcda. , 2008.
- ALMEIDA, A. T. DE. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo, 2013.
- BAO, Q.; RUAN, D.; SHEN, Y.; HERMANS, E.; JANSSENS, D. Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation. **Knowledge-Based Systems**, v. 32, p. 84–90, 2012. DOI: 10.1016/j.knosys.2011.08.014.
- BASILE, O.; PERSIA, L. Tools for Assessing the Safety Impact of Interventions on Road Safety. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 53, p. 682–691, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.09.918.
- BATISTÃO, M. D. C.; FLORES, E. F.; SILVA, J. F. C. Geocoding Road Accidents to Identify Critical Segments with Spatial Statistics. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 40, n. 2, p. 89–97, 2017. DOI: 10.11137/2017_2_89_97.
- BELTON, V.; STEWART, V. B. T. J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**. US: Springer-Verlag GmbH, US, 2002.
- BÔAS, E. F. V.; SILVA, M. A. DA. Trânsito E Segurança Pública: Impactos E Consequências. **Humanidades**, v. 4, n. 2, p. 113–128, 2015.
- 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, 2014. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.03.036.
- CARVALHO, C. H. R. DE. Mortes Por Acidentes De Transporte Terrestre No Brasil: Análise Dos Sistemas De Informação Do Ministério Da Saúde. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, p. 50, 2016.
- CASTRO-NUÑO, M.; ARÉVALO-QUIJADA, M. T. Assessing urban road safety through multidimensional indexes: Application of multicriteria decision making analysis to rank the Spanish provinces. **Transport Policy**, v. 68, n. February 2017, p. 118–129, 2018. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.04.017.
- CHEN, F.; WANG, J.; DENG, Y. Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS-RSR. **Safety Science**, v. 79, p. 39–54, 2015. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.05.006.
- 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, 2011. DOI: 10.1016/j.scient.2011.03.022.
- CNT. Boletim Informativo - Acidentes Brasil. 2013. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins_Detalhes.aspx?b=8>. Acesso em: 10/10/2018.
- CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2018: relatório gerencial**. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2018.

DE ALMEIDA, A. T.; RAMOS, F. DE S. **Gestão da informação na competitividade das organizações**. 2^o ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2002.

DE ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; FILHO, A. T. A.; GARCEZ, T. V.. **Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**. Cham: Springer International Publishing, 2015.

BATISTÃO, M. D. C.; TACHIBANA, V. M.; SILVA, J. F. C.. Mapeamento de trechos rodoviários críticos. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 863–877, 2016.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Metodologia para Tratamento de Acidentes de Tráfego em Rodovias**. Florianópolis: Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Brazil, 2006.

DNIT; UFSC. **Elaboração de ações preventivas e corretivas de segurança rodoviária, por meio de identificação e mapeamento dos segmentos críticos da malha viária do DNIT: Produto I - Metodologia para identificação de segmentos críticos**. 2009.

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, 1994. DOI: 10.1006/obhd.1994.1087.

FANCELLO, G.; CARTA, M.; FADDA, P. A decision support system based on electre III for safety analysis in a suburban road network. **Transportation Research Procedia**, v. 3, n. July 2014, p. 175–184, 2014. DOI: 10.1016/j.trpro.2014.10.103.

FANCELLO, G.; CARTA, M.; FADDA, P. A decision support system for road safety analysis. **Transportation Research Procedia**, v. 5, p. 201–210, 2015. DOI: 10.1016/j.trpro.2015.01.009.

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, n. April, p. 188–196, 2019. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.04.007.

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, n. May 2017, p. 10–25, 2019. DOI: 10.1016/j.eiar.2018.11.002.

GEORGE, Y.; ATHANASIOS, T.; GEORGE, P. Investigation of road accident severity per vehicle type. **Transportation Research Procedia**, v. 25, p. 2076–2083, 2017. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.401.

HERMANS, E.; RUAN, D.; BRIJS, T.; WETS, G.; VANHOOF, K. Road safety risk evaluation by means of ordered weighted averaging operators and expert knowledge. **Knowledge-Based Systems**, v. 23, n. 1, p. 48–52, 2010. DOI: 10.1016/j.knosys.2009.07.004.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). IPEA traça panorama sobre acidentes nas rodovias federais. 2015

JARDIM, J. M. M.; DA SILVA JÚNIOR, R. A.; PASCOAL, I. C.; OLIVEIRA, A. A. D. F.; PINHEIRO JUNIOR, J. W. Análise dos acidentes de trânsito ocasionados por animais nas

rodovias federais do estado de Pernambuco, Brasil. **Medicina Veterinária (UFRPE)**, v. 11, n. 1, p. 76, 2017. DOI: 10.26605/medvet-n1-1628.

KANUGANTI, S.; AGARWALA, R.; DUTTA, B.; BHANEGAONKAR, P. N.; SINGH, A. P.; SARKAR, A. K.. Road safety analysis using multi criteria approach: A case study in India. **Transportation Research Procedia**, v. 25, p. 4649–4661, 2017. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.299.

KHORASANI, G.; MIRMOHAMMADI, F.; MOTAMED, H.; FERREIDON, M.; TATARI, A. Application of Multi Criteria Decision Making Tools in Road Safety Performance Indicators and Determine Appropriate Method with Average Concept. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)**, v. 3, n. 5, p. 173–177, 2013.

LIMA, J. P.; RAMOS, R. A. R.; FERNANDES JÚNIOR, J. L. Priorização de pavimentos com o uso da metodologia de análise multicritério e SIG. **Engevista**, v. 10, n. 2, p. 132–144, 2010. DOI: 10.22409/engevista.v10i2.220.

LIMA, J. N. ; GARCEZ, T. V. . Análise dos acidentes de trânsito na BR-232 de 2007-2012: traçando perfis. In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza/CE. **Anais do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2015.

LIMA, J. N. ; GARCEZ, T. V. . Estudo exploratório dos acidentes nas rodovias do estado de Pernambuco (2007-2012). In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2016, João Pessoa. **Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2016.

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, 2008. DOI: 10.1016/j.eswa.2007.08.064.

LOPRENCIPE, G.; MORETTI, L.; CANTISANI, G.; MINATI, P. Prioritization methodology for roadside and guardrail improvement: Quantitative calculation of safety level and optimization of resources allocation. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 5, n. 5, p. 348–360, 2018. DOI: 10.1016/j.jtte.2018.03.004.

MAROZZI, M. Testing for concordance between several criteria. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, v. 84, n. 9, p. 1843–1850, 2014. DOI: 10.1080/00949655.2013.766189.

MARTENSEN, H.; DIEPENDAELE, K.; DANIELS, S.; et al. The European road safety decision support system on risks and measures. **Accident Analysis and Prevention**, v. 125, n. August, p. 344–351, 2019. DOI: 10.1016/j.aap.2018.08.005.

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

MARTINS, M. A.; GARCEZ, T. V.. Análise de correspondência e de cluster como estratégia exploratória dos acidentes de trânsito nas rodovias federais de Pernambuco: 10 anos de análise (2007-2016). In: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018, Maceió/AL. **Anais do XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2018.

MARTINS, M. A.; GARCEZ, T. V.. Priorização das causas de acidentes de trânsito em rodovias federais de Pernambuco: uma abordagem multicritério e multiperíodo. In: XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2019, Santos/SP. **Anais do XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2019.

MÁSILKOVÁ, M. Health and social consequences of road traffic accidents. **Kontakt**, v. 19, n. 1, p. e43–e47, 2017. DOI: 10.1016/j.kontakt.2017.01.007.

MASSAU, G. C.; ROSA, R. G. DA. ACIDENTES DE TRÂNSITO E DIREITO À SAÚDE: PREVENÇÃO DE VIDAS E ECONOMIA PÚBLICA. **Revista de Direito Sanitário**, v. 17, n. 2, p. 30, 2016. DOI: 10.11606/issn.2316-9044.v17i2p30-47.

MATTOS, A. C. M. **Sistemas de informação: uma visão executiva**. São Paulo: Saraiva, 2005.

RODRIGUES, D. S.; RIBEIRO, P. J. G.; DA SILVA NOGUEIRA, I. C. Safety classification using GIS in decision-making process to define priority road interventions. **Journal of Transport Geography**, v. 43, p. 101–110, 2015. Elsevier Ltd.

ROSIĆ, M.; PEŠIĆ, D.; KUKIĆ, D.; ANTIĆ, B.; BOŽOVIĆ, M. Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method. **Accident Analysis and Prevention**, v. 98, p. 277–286, 2017.

ROY, B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. , v. 12, n. 0, p. 6221, 1996.

RYDER, B.; GAHR, B.; EGOLF, P.; DAHLINGER, A.; WORTMANN, F. 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, 2017. DOI: 10.1016/j.dss.2017.05.004.

SA, T. C. ; CAVALCANTI FILHO, C. R. ; MARTINS, M. A. ; GARCEZ, T. V. . Proposta de um índice de severidade multidimensional das causas/tipos de acidentes nas rodovias federais de Pernambuco (2017-2018). In: XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2019, Santos/SP. **Anais do XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2019.

SANTOS, A. M. R. DOS; RODRIGUES, R. A. P.; SANTOS, C. B. DOS; CAMINITI, G. B. Geographic distribution of deaths among elderly due to traffic accidents. **Escola Anna Nery - Revista de Enfermagem**, v. 20, n. 1, p. 130–137, 2016. DOI: 10.5935/1414-8145.20160018.

SHEN, Y.; HERMANS, E.; RUAN, D.; WETS, G.; BRIJS, T.; VANHOOF, K.. A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 12, p. 15262–15272, 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.05.073.

SILVA, G. J. C. DA; MENEZES, L. B.; NEDER, H. D. Qualidade da malha rodoviária, custos econômicos associados e determinantes dos acidentes de trânsito no Brasil: avaliação e proposição de política. **Revista Políticas Públicas**, v. 19, n. 1, p. 327, 2016. DOI: 10.18764/2178-2865.v19n1p327-347.

SILVA, P. H. N. DE V.; LIMA, M. L. C. DE; MOREIRA, R. DA S.; SOUZA, W. V. DE; CABRAL, A. P. DE S. Estudo espacial da mortalidade por acidentes de motocicleta em Pernambuco. **Revista de Saúde Pública**, v. 45, n. 2, p. 409–415, 2011. DOI: 10.1590/S0034-89102011005000010.

STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W.; DA SILVA, F. S. C. **Princípios de sistemas de informação**. 9^o ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TEMRUNGSIE, W.; RAKSUNTRON, W.; NAMEE, N.; CHAYANAN, S.; WITCHAYANGKON, B. AHP-based prioritization on road accidents factors: A case study of Thailand. **International Transaction Journal of Engineering, Management, Applied Sciences & Technologies**, v. 6, n. 4, p. 135–144, 2015.

TEŠIĆ, M.; HERMANS, E.; LIPOVAC, K.; PEŠIĆ, D. Identifying the most significant indicators of the total road safety performance index. **Accident Analysis & Prevention**, v. 113, n. July 2017, p. 263–278, 2018. DOI: 10.1016/j.aap.2018.02.003.

TÖRÖK, Á.; PAUER, G.; BERTA, T. Analysing the Impact of Road Information System on Traffic Safety. **Procedia Engineering**, v. 187, p. 712–721, 2017. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.445.

TRIPODI, A.; PERSIA, L.; DI MASCIO, P.; CORAZZA, M. V.; MUSSO, A. A Decision Support System for Analysis of Vulnerable Road Users Safety Issues: Results of the SAFERBRAIN Project. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 53, p. 841–850, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.09.933.

WEI, G. Grey relational analysis model for dynamic hybrid multiple attribute decision making. **Knowledge-Based Systems**, v. 24, n. 5, p. 672–679, 2011. DOI: 10.1016/j.knosys.2011.02.007.

WEI, G. W. Some geometric aggregation functions and their application to dynamic multiple attribute decision making in the intuitionistic fuzzy setting. **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, v. 17, n. 02, p. 179–196, 2009.

WHO. Road traffic injuries. 2018a. Disponível em: <<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>>. Acesso em: 15/3/2019.

WHO. The top 10 causes of death. 2018b. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>>. Acesso em: 15/3/2019.

WHO. **Global status report on road safety 2018**. Geneva, 2018c.

XU, Z. On multi-period multi-attribute decision making. **Knowledge-Based Systems**, v. 21, n. 2, p. 164–171, 2008. DOI: 10.1016/j.knosys.2007.05.007.

XU, Z. S. A method based on the dynamic weighted geometric aggregation operator for dynamic hybrid multi-attribute group decision making. **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, v. 17, n. 01, p. 15–33, 2009. DOI: 10.1142/S0218488509005711.

XU, Z.; YAGER, R. R. Dynamic intuitionistic fuzzy multi-attribute decision making. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 48, n. 1, p. 246–262, 2008. DOI: 10.1016/j.ijar.2007.08.008.

YAN, S.; LIU, S.; LIU, J.; WU, L. Dynamic grey target decision making method with grey numbers based on existing state and future development trend of alternatives. **Journal of Intelligent and Fuzzy Systems**, v. 28, n. 5, p. 2159–2168, 2015. DOI: 10.3233/IFS-141497.

**APÊNDICE A – INDICADORES DE SEGURANÇA RODOVIÁRIA
UTILIZADOS NA LITERATURA COMO CRITÉRIOS**

Autor	Método	Alternativas		Critérios
(BAO et al., 2012)	Hierarchical fuzzy TOPSIS	Países Europa	da	Álcool e drogas; Velocidade; Sistemas de proteção (sinto de segurança); Idade média dos veículos; Participação das motos e veículos pesados na frota; Gestão de trauma (gastos com saúde).
(CASTRO-NUÑO; ARÉVALO- QUIJADA, 2018)	PROMETHEE Gaia	Províncias Espanha	da	Taxa de acidentes urbanos; Taxa de mortalidade urbana; PIB per capita; Densidade populacional; Idade média; Não. Turistas; PIB pc construção; PIB pc fabricação; Densidade hospitalar; Não. Cidades inteligentes; Trem urbano / Metrô; Taxa de motorização; Densidade da rede de auto-estradas; Densidade de outras estradas.
(CHEN; WANG; DENG, 2015)	Metodologia de entropia aprimorada TOPSIS – RSR	Províncias China	da	% de motoristas novatos; % de veículos pesados; % de veículos com o máximo de 5 anos ; Densidade da via (km/km2); % de auto estradas; % de população urbana; % de população analfabeta; Médicos por 1000 habitantes; Expectativa de vida; PIB; % de gastos em saúde; Número de licenças de motoristas por veículos; Fatalidades por 100.000 habitantes; Fatalidades por acidentes em rodovia; Fatalidades por 10.000 habitantes.
(FANCELLO; CARTA; FADDA, 2014)	ELECTRE III	Seções rodovia	da	Fator da hora de pico; Porcentagem de veículos pesados; Grau de saturação; Fator de ajuste para a largura da pista; Potencial de segurança (sapo); Taxa de acidentes
(FANCELLO, GIANFRANCO; CARTA; FADDA, 2015)	Análise de Concordância	Seções rodovia	da	Fator da hora de pico; % de veículos pesados; Tráfego médio diário; Grau de saturação; Fator de ajuste para a largura da pista; Potencial de segurança (SAPO); Número de fatalidades; Número de pessoas feridas; Número de acidentes com apenas danos de material; Taxa de acidentes (número de acidentes dividido por fluxo de veículo).

(FANCELLO; CARTA; FADDA, 2019)	Vikor e Topsis	Seções rodovia	da	Distância da vista do acesso; Sinais e marcações na estrada; Iluminação de interseção; Manutenção da superfície da estrada; Densidade de pontos de conflito de tráfego; Fluxo de veículos; % de veículos pesados; Fluxo de pedestres.
(HERMANS et al., 2010)	Operador de média ponderada ordenada (OWA)	Países Europa	da	Álcool e drogas; Velocidade; Sistemas de proteção (uso do cinto); Iluminação; Densidade da rede; Gestão de trauma (gastos com saúde).
(KANUGANTI et al., 2017)	SAW, AHP, Fuzzy AHP	Rodovias		Distância da vista; Curvas acentuadas; Super elevação; Gravidade do ambiente na estrada; Drenagem; Largura do ombro; Queda de ombro; Qualidade do ombro; Falha na aresta do pavimento; Buracos; Rachaduras; Acesso direto das casas para estradas; Sinalização.
(KHORASANI et al., 2013)	SAW, AHP, Fuzzy Topsis	Países Europa	da	Álcool; Velocidade; Cinto de segurança; Densidade de auto-estradas; Despesas com assistência médica; Idade média dos veículos; Participação de motos na frota; Participação de veículos pesados.
(LIMA; RAMOS; FERNANDES JÚNIOR, 2010)	AHP	Seções rodovia	da	Fatores associados à hierarquia Viária; Fatores associados às questões técnicas e operacionais; Fatores associados à localização das seções de pavimento; Fatores associados aos custos.
(ROSIC et al., 2017)	DEA, TOPSIS	Departamentos de polícia		Risco do público (número de fatalidade por 100000 habitantes); Risco de tráfego (número de mortes por número de veículos a motor matriculados); Risco do público (número de feridos gravemente por 100000 habitantes); Risco de tráfego (número de feridos gravemente por número de veículos a motor matriculados);
(TEŠIĆ et al., 2018)	DEA	Países Europa	da	Álcool; limite de velocidade; sistemas de proteção; veículo; rodovias; gestão de traumas.
(ALMEIDA; MOREIRA, 2008)	MCDA	Locais para implantação de sinalização	para	Quantidade de Acidentes; Severidade dos Acidentes; Riscos de Acidentes;

Volume Veicular;
Volume de Pedestres;
Geometria Física da Via;
Pavimento;
Visibilidade;
Controles;
Mobiliário Urbano;
Uso do Solo;
Solicitações de implantação pela população;
Solicitações de implantação do órgão

**APÊNDICE B – COEFICIENTE DE CONCORDÂNCIA DE RANK
(KENDALL W)**

Comparação	Kendall W	X²	Valor-p
Todos os métodos	0,912059	63,84416	0,00
ROC & Aritmética	0,869318	17,38636	0,07
ROC & Geométrica	0,90568182	18,1136364	0,05
ROC & Exp. Inversa	0,890909091	17,81818182	0,06
ROC & Idade média	0,879545	17,59091	0,06
ROC & BUM	0,879545455	17,59090909	0,06
ROC & Igual	0,831818	16,63636	0,08
Aritmética & Geométrica	0,972727	19,45455	0,03
Aritmética & Exp. Inversa	0,98522727	19,7045455	0,03
Aritmética & Idade média	0,972727273	19,45454545	0,03
Aritmética & BUM	0,972727	19,45455	0,03
Aritmética & Igual	0,989772727	19,79545455	0,03
Geométrica & Exp. Inversa	0,989773	19,79545	0,03
Geométrica & Idade média	0,97386364	19,4772727	0,03
Geométrica & BUM	0,973863636	19,47727273	0,03
Geométrica & Igual	0,955682	19,11364	0,04
Exp. Inversa & Idade média	0,988636	19,77273	0,03
Exp. Inversa & BUM	0,98863636	19,7727273	0,03
Exp. Inversa & Igual	0,968181818	19,36363636	0,04
Idade média & BUM	0,990909	19,81818	0,03
Idade média & Igual	0,95454545	19,0909091	0,04
BUM & Igual	0,954545	19,09091	0,04
ROC & 2014 até 2018	0,89204545	17,8409091	0,06
Aritmética & 2014 até 2018	0,248863636	4,977272727	0,89
Geométrica & 2014 até 2018	0,935227	18,70455	0,04
Exp. Inversa & 2014 até 2018	0,25	5	0,89
Idade média & 2014 até 2018	0,894318	17,88636	0,06
BUM & 2014 até 2018	0,247727	4,954545	0,89
Igual & 2014 até 2018	0,853409	17,06818	0,07
ROC & 2018	0,982955	19,65909	0,03
Aritmética & 2018	0,865909	17,31818	0,07
Geométrica & 2018	0,888636	17,77273	0,06
Exp. Inversa & 2018	0,873864	17,47727	0,06
Idade média & 2018	0,861364	17,22727	0,07
BUM & 2018	0,861364	17,22727	0,07
Igual & 2018	0,835227	16,70455	0,08

Fonte: os autores (2020)

APÊNDICE C – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Tabela 12 – Resultado para variação de até 1%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
3º	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	99%	0%	0%	0%
4º	0%	0%	0%	0%	99%	0%	0%	1%	0%	0%	0%
5º	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6º	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	48%	76%
7º	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	52%	24%
8º	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9º	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
10º	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 13 – Resultado para variação de até 5%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
3º	0%	0%	0%	0%	19%	0%	0%	81%	0%	0%	0%
4º	16%	0%	0%	0%	68%	0%	0%	19%	0%	0%	0%
5º	82%	0%	0%	0%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	4%
6º	2%	0%	0%	0%	0%	0%	11%	0%	0%	24%	82%
7º	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	63%	14%
8º	0%	0%	91%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	0%
9º	0%	0%	9%	2%	0%	0%	81%	0%	0%	0%	0%
10º	0%	0%	0%	98%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 14 – Resultado para variação de até 10%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	100%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	0%	99%	0%	2%	0%	0%	0%
3º	0%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	82%	0%	0%	0%
4º	26%	0%	0%	0%	61%	0%	0%	16%	0%	0%	0%
5º	66%	0%	0%	0%	18%	0%	0%	0%	0%	0%	16%
6º	8%	0%	1%	0%	0%	0%	16%	0%	0%	15%	72%
7º	0%	0%	7%	0%	0%	0%	21%	0%	0%	57%	10%
8º	0%	0%	74%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	26%	1%
9º	0%	0%	18%	10%	0%	0%	61%	0%	0%	2%	0%
10º	0%	0%	0%	90%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 15 – Resultado para variação de até 15%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	100%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	2%	95%	0%	7%	0%	0%	0%
3º	0%	0%	0%	0%	18%	3%	0%	81%	0%	0%	0%
4º	23%	0%	0%	0%	64%	0%	0%	12%	0%	0%	1%
5º	65%	0%	1%	0%	16%	0%	0%	0%	0%	0%	22%
6º	11%	0%	10%	0%	0%	0%	16%	0%	0%	9%	64%
7º	0%	0%	34%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	32%	11%
8º	0%	0%	44%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	45%	2%
9º	0%	0%	11%	7%	0%	0%	56%	0%	0%	14%	0%
10º	0%	0%	0%	93%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 16 – Resultado para variação de até 20%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	99%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	3%	92%	0%	10%	1%	0%	0%
3º	0%	0%	0%	0%	17%	6%	0%	79%	0%	0%	0%
4º	24%	0%	0%	0%	62%	0%	0%	11%	0%	0%	1%
5º	65%	0%	1%	0%	17%	0%	2%	0%	0%	0%	21%
6º	11%	0%	16%	0%	2%	0%	14%	0%	0%	7%	60%
7º	0%	0%	45%	0%	0%	0%	15%	0%	0%	22%	13%
8º	0%	0%	30%	0%	0%	0%	12%	0%	0%	50%	3%
9º	0%	0%	7%	7%	0%	0%	55%	0%	0%	21%	0%
10º	0%	0%	0%	92%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 17 – Resultado para variação de até 25%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	99%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	4%	90%	0%	13%	1%	0%	0%
3º	0%	0%	0%	0%	16%	8%	0%	76%	0%	0%	0%
4º	26%	0%	0%	0%	60%	1%	1%	11%	0%	0%	2%
5º	62%	0%	2%	0%	16%	0%	3%	0%	0%	1%	24%
6º	12%	0%	20%	0%	3%	0%	12%	0%	0%	5%	56%
7º	1%	0%	50%	0%	1%	0%	15%	0%	0%	17%	13%
8º	0%	0%	23%	4%	0%	0%	14%	0%	0%	49%	4%
9º	0%	0%	5%	7%	0%	0%	52%	0%	0%	28%	0%
10º	0%	0%	0%	89%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 18 – Resultado para variação de até 30%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	99%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	5%	87%	0%	13%	1%	0%	0%
3º	1%	0%	0%	0%	16%	9%	0%	73%	0%	0%	0%
4º	25%	0%	1%	0%	54%	1%	1%	13%	0%	0%	4%
5º	58%	0%	4%	0%	16%	0%	3%	0%	0%	1%	26%
6º	14%	0%	20%	0%	5%	0%	10%	0%	0%	5%	52%
7º	1%	0%	51%	0%	2%	0%	14%	0%	0%	16%	13%
8º	0%	0%	20%	7%	1%	0%	18%	0%	0%	44%	4%
9º	0%	0%	4%	8%	0%	0%	47%	0%	0%	32%	0%
10º	0%	0%	0%	85%	0%	0%	7%	0%	0%	2%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 19 – Resultado para variação de até 35%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	99%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	6%	86%	0%	14%	1%	0%	0%
3º	3%	0%	1%	0%	18%	10%	1%	70%	0%	0%	1%
4º	24%	0%	2%	0%	49%	1%	1%	15%	0%	0%	7%
5º	54%	0%	4%	0%	16%	0%	3%	1%	0%	1%	29%
6º	16%	0%	19%	0%	6%	0%	8%	0%	0%	6%	48%
7º	2%	0%	51%	0%	3%	0%	13%	0%	0%	17%	12%
8º	0%	0%	19%	11%	2%	0%	20%	0%	0%	39%	4%
9º	0%	0%	4%	8%	1%	0%	44%	0%	0%	34%	1%
10º	0%	0%	0%	80%	0%	0%	9%	0%	0%	3%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 20 – Resultado para variação de até 40%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	1%	3%	0%	0%	99%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	7%	84%	0%	14%	1%	0%	0%
3º	4%	0%	1%	0%	18%	11%	1%	67%	0%	0%	1%
4º	24%	0%	2%	0%	44%	2%	1%	16%	0%	0%	10%
5º	50%	0%	5%	0%	15%	0%	4%	1%	0%	1%	30%
6º	18%	0%	19%	0%	8%	0%	7%	1%	0%	7%	43%
7º	3%	0%	48%	1%	4%	0%	12%	0%	0%	17%	12%
8º	1%	0%	19%	14%	2%	0%	23%	0%	0%	35%	3%
9º	0%	0%	6%	10%	1%	0%	40%	0%	0%	36%	0%
10º	0%	0%	0%	76%	0%	0%	11%	0%	0%	5%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 21 – Resultado para variação de até 45%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	1%	5%	0%	0%	97%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	8%	79%	0%	15%	3%	0%	1%
3º	5%	0%	2%	0%	17%	12%	1%	65%	0%	0%	2%
4º	21%	0%	3%	0%	41%	3%	2%	16%	0%	0%	12%
5º	45%	0%	6%	0%	15%	0%	4%	2%	0%	2%	34%
6º	21%	0%	20%	0%	9%	0%	7%	1%	0%	7%	37%
7º	5%	0%	44%	2%	5%	0%	14%	1%	0%	17%	11%
8º	1%	0%	18%	15%	3%	0%	23%	0%	0%	33%	3%
9º	0%	0%	8%	11%	1%	0%	36%	0%	0%	35%	0%
10º	0%	0%	0%	72%	0%	0%	13%	0%	0%	7%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)

Tabela 22 – Resultado para variação de até 50%

Posição	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1º	0%	0%	0%	0%	1%	7%	0%	0%	95%	0%	0%
2º	0%	0%	0%	0%	8%	77%	0%	15%	5%	0%	1%
3º	6%	0%	2%	0%	16%	13%	2%	63%	0%	0%	4%
4º	20%	0%	4%	0%	39%	3%	2%	17%	0%	0%	14%
5º	41%	0%	7%	0%	15%	0%	5%	2%	0%	2%	36%
6º	23%	0%	20%	1%	9%	0%	7%	1%	0%	7%	33%
7º	7%	0%	41%	2%	6%	0%	13%	1%	0%	17%	10%
8º	2%	0%	18%	16%	4%	0%	24%	1%	0%	31%	3%
9º	1%	0%	8%	11%	2%	0%	33%	0%	0%	36%	0%
10º	0%	0%	0%	71%	0%	0%	15%	0%	0%	7%	0%
11º	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: os autores (2020)