

PROPOSTA DE MODELO DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO EM GRUPO PARA APOIAR A TOMADA DE DECISÃO NA GESTÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM MOSSORÓ/RN

Murilo Alves de Albuquerque Damasceno¹, Thomas Edson Espíndola Gonçalo²

Resumo: De acordo com a Organização Mundial da Saúde, a quantidade de óbitos decorrentes de lesões por transportes é preocupante. A entidade ainda destaca a situação dos países de médio e pequeno porte, cuja quantidade de mortes no trânsito compõe mais de 90% das mortes decorrentes dessa causa em todo o mundo. Essa situação engloba o Brasil, que chegou a ocupar o terceiro lugar no ranking de países com maior número de óbitos no trânsito. Diante disso, as autoridades públicas buscam estratégias eficientes que possam auxiliar na redução das ocorrências a nível nacional, estadual e municipal. Nesse contexto, em se tratando do município de Mossoró/RN, cidade de médio-porte e alvo do presente estudo, é proposto um modelo multicritério de apoio à decisão em grupo, segundo as preferências de três decisores com experiência na gestão de trânsito municipal e atuantes no Programa Vida no Trânsito de Mossoró. Foi adotado, portanto, o método PROMSORT para classificar as vias do município conforme o risco que cada uma apresenta quanto a ocorrência de lesões de trânsito e uma estratégia de interseção dos resultados individuais dos múltiplos decisores baseada na quantidade de resultados coincidentes. A classificação final foi estabelecida conforme cinco categorias estabelecidas: (I) Extremamente crítica, (II) Muito crítica, (III) Crítica, (IV) Moderadamente crítica, e (V) Pouco crítica, para as quais existe um associado grau de necessidade urgente de intervenção pública. Ao final da pesquisa, três vias foram designadas para (I), 34 foram alocadas para (II), 36 para (III), 61 para (IV) e 2133 para (V).

Palavras-chave: Acidentes de trânsito; Métodos multicritério de apoio à decisão; Métodos de apoio à tomada de decisão em grupo; PROMSORT.

1. INTRODUÇÃO

Em razão de um intenso crescimento demográfico das cidades nas últimas décadas e, consequentemente, do aumento da frota de veículos motorizados em diversas partes do mundo, o número de lesões no trânsito vem crescendo em ritmo acelerado, requerendo cada vez mais esforços dos gestores públicos para controle, prevenção e redução de acidentes. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) [1], aproximadamente 1,3 milhão de pessoas morrem vítimas de acidentes de trânsito a cada ano, fazendo com que esse tipo de lesão seja a principal causa de morte entre as pessoas na faixa etária de 5 a 29 anos. Ainda de acordo com essa entidade, são notificados entre 20 e 50 milhões de acidentes não-fatais anualmente, resultando, na maioria das vezes, na incapacidade física dos envolvidos, seja temporária ou permanentemente.

Partindo do viés socioeconômico, ainda segundo a OMS [1], mais de 90% dos óbitos decorrentes de lesões de trânsito é concentrada nos países de baixa e média renda. Desse cenário, é oportuno destacar o custo econômico desses acidentes, não somente para as vítimas e seus respectivos familiares, mas também aos países de uma forma geral. Tais despesas levam em consideração fatores como os custos com tratamento e reabilitação do acidentado, investigação do acidente e a redução ou a perda da produtividade de trabalho das vítimas envolvidas. Nesse contexto, aponta-se o caso do Brasil, que, conforme o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) [2], gastou mais de R\$1,5 trilhão com acidentes de transporte entre os anos de 2007 e 2018, registrando, nesse período, aproximadamente 480 mil óbitos no trânsito.

De acordo com a OMS [3], o Brasil foi classificado como o terceiro país no ranking das nações com maior número de acidentes fatais de trânsito em 2017. Tal classificação pode ser relacionada diretamente, dentre outros fatores, ao crescimento significativo da frota brasileira na última década. Como registrado pelo Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN [4], a frota nacional foi ampliada em incríveis 66,54% entre 2010 e 2020, contabilizando um aumento de mais de 43 milhões de veículos, entre automóveis, motocicletas e outros modais de transporte. Dessa forma, considerando tantos veículos circulando diariamente pelo país, também é possível registrar um substancial aumento do número de acidentes.

Apesar dos acidentes causados pela imprudência e demais particularidades comportamentais dos condutores dos veículos, uma série de características físicas das vias também pode representar uma elevada influência no cenário de trânsito brasileiro. Fatores como largura da via, nível de conservação do pavimento, velocidade máxima permitida e a presença ou ausência das devidas sinalizações tornam-se aspectos significativos para identificar um

cenário legítimo acerca das lesões por transportes nas cidades. Diante desses fatores, compreende-se que o processo de tomada de decisão passa a necessitar de análises complementares para garantir maior eficiência e segurança nas ações e mitigar as elevadas taxas de acidentes no trânsito. Dessa forma, as ferramentas de modelagem matemática apresentam-se como interessantes alternativas para compreender e representar melhor o panorama geral da situação.

Para a realização da presente pesquisa, foi explorado o potencial dos modelos multicritério de apoio à decisão para classificar as vias da cidade, aplicando o método PROMSORT para o problema de classificação conforme as preferências de um grupo de decisores. Nesse contexto, foi estabelecido o objetivo de prestar suporte aos gestores públicos responsáveis pela gestão de trânsito do município de Mossoró, cidade de médio porte localizada no interior do Estado do Rio Grande do Norte, no que tange à uma melhor compreensão do nível de segurança que cada uma das vias da cidade oferece à população. Portanto, este estudo apresenta potencial como uma forte ferramenta para eficazes análises a respeito do cenário de trânsito municipal, auxiliando no planejamento de ações de intervenção e controle.

No que tange ao escopo do presente estudo, foi avaliado o risco de ocorrência de acidentes de trânsito nas vias do município de Mossoró a partir da utilização da ferramenta supracitada. Nesse cenário, a respeito da cidade cujas vias serão avaliadas, é interessante destacar algumas informações. Conforme a estimativa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [5], o referido município possui 300.792 habitantes e contempla uma área de aproximadamente 2099 km². Segundo o Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Norte - DETRAN/RN [6], a frota municipal é de 181.879 veículos, considerando todos os modais de transporte, valor equivalente a 12,76% do total estadual.

Diante disso, tendo em vista uma melhor organização da pesquisa, o referido artigo foi subdividido em seções. Na primeira seção consta a introdução ao contexto dos acidentes por transportes de uma forma geral e uma rápida contextualização da região estudada. Em seguida, será apresentada uma breve fundamentação teórica sobre os principais conceitos que serão abordados no artigo. Na seção seguinte, será apresentado e detalhado todo o método científico aplicado na pesquisa. Na sequência, será abordada a aplicação numérica do método PROMSORT para as etapas de classificação para decisão individual e para decisão coletiva das vias conforme o risco de ocorrência de acidentes. Na seção 5 serão discutidos os resultados obtidos na aplicação do método multicritério. Na seção 6 serão feitas considerações finais sobre o trabalho de uma forma geral e, por fim, serão apresentadas as referências bibliográficas consideradas na realização do presente trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO EM METODOLOGIAS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

No que diz respeito aos modelos matemáticos de apoio à decisão, destacam-se as metodologias de análise de múltiplos critérios (do inglês, *Multicriteria Decision Aiding* - MCDA), que podem facilitar o processo de análise de dados mais robustos e, com isso, prestar suporte aos tomadores de decisão para resolução de problemas complexos de uma forma eficaz [7]. Conforme apontam Behzadian et al. [8], os métodos MCDA buscam avaliar alternativas com problemáticas reais baseadas em critérios conflitantes. Contudo, como evidenciado por Zeleny [9], Sikder e Salehin [10], tal metodologia é capaz solucionar tais conflitos e fornecer praticidade de avaliação das alternativas em processos decisórios, bem como subsídios para apoiar a tomada de decisão em diversos campos de atividade humana.

Nesse contexto, Zopounidis e Doumpos [11] destacam aplicações de métodos MCDA na área da medicina, na gestão ambiental e de insumos energéticos, no setor financeiro e econômico, marketing, dentre outros. A respeito da aplicabilidade de tais métodos, Thokala e Duenas [12] defendem que os modelos MCDA destacam-se ao avaliar a preferência de uma alternativa sobre as demais em um conjunto de possibilidades e considerar diferentes critérios, seus níveis de relevância relativa sobre o problema e o respectivo desempenho das alternativas em cada critério estabelecido.

Vale salientar que, em termos quantitativos, as ferramentas MCDA são numerosas. Além disso, cada uma delas possui suas respectivas características específicas e significativas de agregação para diferentes cenários de problemas. Portanto, a escolha do método a ser utilizado para um determinado estudo depende do tipo do problema que se espera solucionar [13]. Nesse contexto, Almeida [14] aponta que a abordagem multicritério pode ser aplicada para diferentes cenários de problemas reais nos quais são consideradas as preferências tanto para o caso de uma única entidade responsável pela tomada de decisão quanto de um grupo de indivíduos, cujas preferências devem convergir em uma decisão coletiva.

Além disso, as diferentes categorias de problemas dos métodos MCDA são subdivididas, segundo Roy [15], em quatro categorias: escolha, classificação, ordenação e descrição. A categoria da escolha pretende identificar a melhor alternativa dentre um conjunto de alternativas. A categoria de classificação visa classificar as alternativas em classes pré-estabelecidas. A categoria de ordenação objetiva ranquear as ações conforme uma determinada ordem de preferência. Por fim, tem-se a categoria de descrição, cuja intenção é descrever, qualitativa e quantitativamente, as alternativas e suas respectivas consequências. Além dessas, Belton e Stewart [16] complementam com outras duas categorias de problemas: a categoria de design, a qual procura identificar ou desenvolver novas alternativas de decisão para alcançar objetivos, e a categoria de portfólio, que procura escolher um grupo de alternativas dentro de um outro conjunto maior de alternativas.

De acordo com Vincke [4] e Guarnieri [17], as ferramentas multicritério são classificadas em três diferentes escolas de abordagens. A primeira escola consiste na consideração do desempenho das alternativas em um determinado conjunto de critérios para obtenção de suas devidas pontuações, que representarão o quão bem avaliadas elas são. Dentre os métodos dessa escola, destacam-se o método SMARTER (Simple Multi-Attribute Rating Technique Exploiting Ranks), o SMARTS (Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings), o MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) e o AHP (Analytic Hierarchy Process).

Na sequência, a segunda escola de métodos baseia-se na construção e exploração das relações de superação entre as alternativas para cada critério de um dado cenário, ocorrendo em comparações par-a-par. Notáveis métodos dessa família são o ELECTRE (do francês, *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e o PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Evaluation Enrichment*).

Seguidamente, a terceira e mais recente escola de abordagens dos métodos MCDA compreende os métodos interativos, que alternam, sucessivamente, entre etapas matemáticas e etapas de diálogo com os tomadores de decisão, visando convergir em um resultado mais satisfatório conforme suas preferências. Desta escola, destacam-se os métodos STEM (Step Method), TRIMAP (Método de Aprendizagem em Programação Linear Tricritério), ICW (Interval Criterion Weights) e PARETO RACE.

3. ESTRUTURAÇÃO E APLICAÇÃO NUMÉRICA DO MÉTODO

O método científico adotado no decorrer da presente pesquisa segue a sequência de etapas descritas na Figura 1 abaixo.

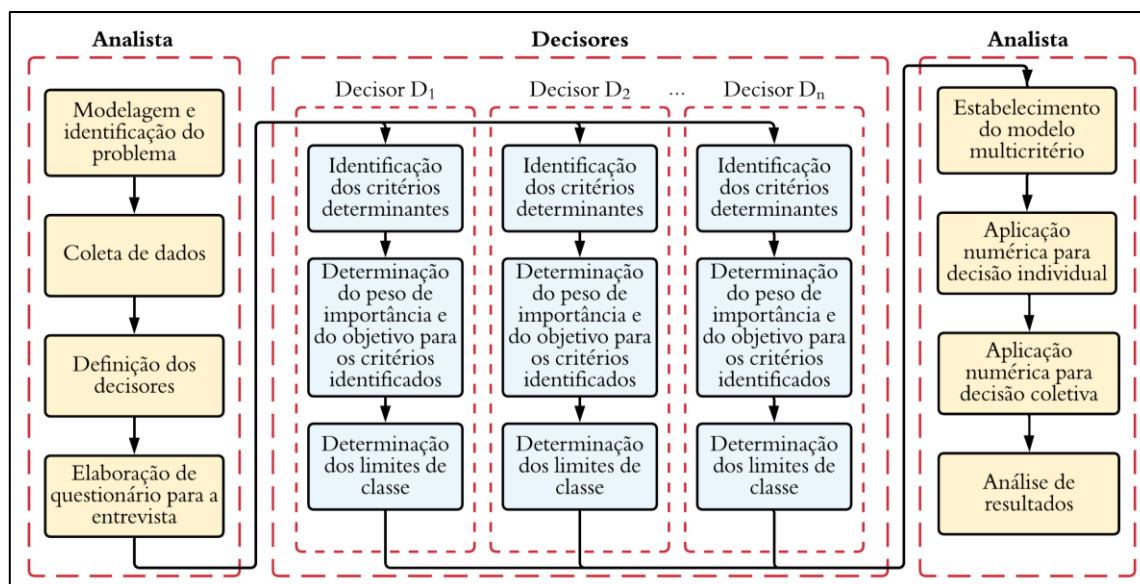


Figura 1. Etapas do modelo multicritério. (Autoria própria)

Primeiramente, foi identificada e estruturada a problemática existente acerca da gestão de trânsito no município de Mossoró. A partir dessa discussão, foram coletados os dados já existentes sobre as características das vias da cidade. Tais dados compreendiam a avaliação de características físicas das vias e a distribuição do quantitativo de acidentes com e sem vítimas entre 2014 e 2017 para cada uma das vias, com base em banco estatístico unificado dos dados fornecidos pelo 2º Distrito de Polícia Rodoviária Estadual (2º DPRE) e pela Secretaria Municipal de Segurança Pública, Defesa Civil, Mobilidade Urbana e Trânsito (SESDEM), por meio do registro dos boletins de ocorrência dos Agentes Municipais de Trânsito.

Em seguida, partindo do conhecimento das organizações à frente da gestão de trânsito no município foi identificado o grupo de decisores que seriam abordados e convidados para participarem da presente pesquisa. Foram convidados, portanto, três decisores com experiência na área de gestão de trânsito, transportes e mobilidade urbana que atuam em parceria com o Programa Vida no Trânsito (PVT) de Mossoró, uma organização de iniciativa do Ministério da Saúde voltado para a promoção de ações de educação e vigilância para prevenção de lesões e mortes no trânsito brasileiro [18]. O primeiro decisor (D1) convidado possui graduação em Serviço Social e conta com quatro anos de experiência na coordenação do PVT Mossoró. O segundo decisor (D2), por sua vez, possui formação acadêmica em Psicopedagogia e conta com doze anos de experiência como pedagogo atuante na gestão de trânsito. O terceiro decisor (D3), por fim, é graduado em Fisioterapia e possui experiência como chefe de trânsito, chefe do grupo de operações de trânsito, gerente de transportes, gerente executivo de trânsito e diretor executivo de mobilidade de Mossoró.

Levando em consideração o atual contexto pandêmico do vírus SARS-CoV-2, popularmente denominado como COVID-19, adotou-se a estratégia de realizar entrevistas por videoconferências para coletar as preferências

dos tomadores de decisão. Para tanto, na etapa seguinte, foi elaborado um questionário na forma de apresentação projetável para ser compartilhada durante as entrevistas. A apresentação foi montada de modo a coletar informações pessoais de cada entrevistado, com o objetivo de conhecer melhor sua relação com a gestão de trânsito municipal, e informações específicas para a aplicação do modelo multicritério, sendo estas voltadas para a aplicação de um modelo de classificação ou de ranqueamento.

Em sequência, a série de entrevistas foi realizada mediante a utilização da plataforma de videoconferências ‘Google Meet’. Antes de cada discussão, foi solicitada a permissão de gravação da entrevista aos convidados, com o objetivo de possuir o registro do momento para documentação tranquila, assegurando-os que tais gravações não seriam divulgadas e nem visualizadas por entidades externas à pesquisa. Ainda durante a entrevista, após a coleta das informações pessoais de cada entrevistado, foram coletadas suas preferências para uma lista predeterminada de oito critérios que são, à princípio, relevantes para determinar o risco de ocorrência de acidentes que uma via possui. É interessante ressaltar que foi certificado junto aos entrevistados, em cada entrevista, se os critérios preestabelecidos são, de fato, relevantes, e se os decisores gostariam de acrescentar mais algum para a análise. Tais critérios são elucidados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Critérios considerados para a aplicação do modelo multicritério. (Autoria própria)

Cód.	Critério	Descrição	Escala
C1	Sinalização horizontal	Estado das sinalizações pintadas na via	Likert de 5 Pontos
C2	Sinalização vertical	Estado das placas existentes na via	Likert de 5 Pontos
C3	Sinalização semafórica	Estado dos semáforos existentes na via	Booleana
C4	Velocidade	Velocidade máxima permitida na via	Quantitativa
C5	Largura	Largura da via	Quantitativa
C6	Conservação do pavimento	Estado de conservação do pavimento	Likert de 5 Pontos
C7	Acidentes com vítimas	Número de acidentes sem vítimas fatais	Quantitativa
C8	Acidentes sem vítimas	Número de acidentes com vítimas fatais	Quantitativa

Na etapa seguinte, foi coletado o peso de importância de cada critério e sua respectiva lógica, seja de maximização ou minimização, para um elevado risco de ocorrência de lesões no trânsito. Nesta etapa, os decisores foram informados que se for designado um peso X para um determinado critério A e um peso 2X para um outro critério B, significa que B tem duas vezes mais relevância do que A para avaliar uma via quanto ao seu risco de ocorrência por transportes. Além disso, os pesos dos critérios foram determinados mediante total liberdade de escolha de intervalo numérico por parte dos decisores. Neste ponto, o intervalo adotado por eles, individualmente, foi entre 0 e 10.

Ainda durante a entrevista, foi perguntado aos decisores qual tipo de informação seria mais relevante para a gestão municipal de acidentes de trânsito: um ranking decrescente das ruas da cidade, conforme um índice de criticidade, no qual as ruas mais críticas ocupariam as colocações superiores; ou uma classificação de cada rua conforme três classes predefinidas representando diferentes níveis de criticidade, para a qual a ordem das alternativas não tem relevância no resultado. Nesse ponto, por unanimidade, foi escolhido o método de classificação. Dessa forma, as classes preestabelecidas foram: “Muito Crítico”, na qual serão alocadas as vias que necessitam prontamente de intervenção; “Crítico”, na qual serão destinadas as vias que necessitam de atenção assim que possível; e “Pouco Crítico”, na qual serão classificadas as vias que não necessitam de intervenção imediata, visto que apresentam melhores condições de segurança à população.

A partir dessa informação, foi solicitado que os decisores definissem valores que caracterizassem a fronteira entre as classes. Tais valores foram definidos segundo as escalas de valores de cada critério, evidenciadas na Tabela 1. É válido destacar que quatro dos oito critérios são avaliados segundo escala quantitativa; um é avaliado segundo uma escala booleana, ou seja, seus valores variam entre 0 (não possui) e 1 (possui); e três são avaliados por meio de uma escala verbal qualitativa traduzida em uma escala numérica de cinco pontos, denominada Escala Likert. Nesta escala, o valor 1 foi associado a uma situação “Muito ruim”, o valor 2 a uma situação “Ruim”, o 3 a “Mediano”, o 4 a “Bom” e o 5 a “Muito bom”.

Nesse contexto, de acordo com o conjunto de preferências dos decisores, o método multicritério estabelecido foi o método PROMSORT (do inglês, *PROMETHEE Sorting*), idealizado por Araz e Ozkaran [19]. Levando-se em consideração características da família de métodos PROMETHEE, destacados por Do Carmo et al. [20], o método PROMSORT foi escolhido, primeiramente, por solucionar a problemática de classificação de um grupo finito de alternativas; por considerar uma abordagem não compensatória, ou seja, por não permitir a compensação

do desempenho dos critérios entre si; por considerar, por meio de funções de preferência e outros parâmetros, a possibilidade de hesitação dos decisores; e por permitir a relação entre escalas verbais e numéricas em sua aplicação.

Em seguida, após ter sido estabelecido o método para a execução da pesquisa, foi realizada a aplicação numérica individual para cada decisor entrevistado. Logo em sequência, foi determinada a estratégia de conversão dos resultados individuais para um resultado coletivo de decisão para os três decisores e foi gerada a classificação final das vias. Por último, ocorreu a análise dos resultados obtidos, etapa durante a qual foi realizada a análise de sensibilidade da classificação final. As etapas de aplicação numérica para decisão individual e para decisão em grupo são detalhadas na subseção a seguir.

3.1. Método PROMSORT

De acordo com Zopounidis e Doumpos [9], existem dois diferentes tipos de distribuição de alternativas em classes predefinidas por meio de métodos multicritérios: (1) classificação nominal e (2) classificação ordinal, também chamada de “*sorting*”. A primeira abordagem trata de um tipo para alocação de alternativas em categorias que não possuem informações suplementares, apenas seus respectivos nomes. No entanto, a segunda abordagem trata da classificação de possibilidades em grupos preestabelecidos segundo uma perspectiva de ordenação entre eles, partindo, por exemplo, da categoria de alternativas menos preferíveis para a de mais preferíveis. Diante deste contexto, o PROMSORT é tido como um método de classificação ordinal [19].

Segundo Araz e Ozkarahan [19], a aplicação do PROMSORT segue uma estrutura de três etapas consecutivas:

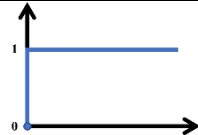
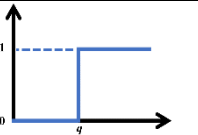
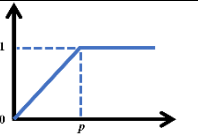
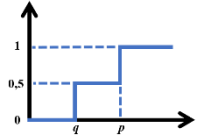
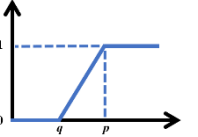
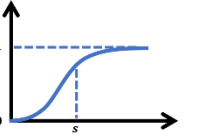
- (1) Estabelecimento das relações de superação entre as alternativas, aplicando o PROMETHEE I, etapa na qual são coletados os fluxos positivos e negativos, que medem, respectivamente, a força de superação de uma alternativa sobre as demais e a fragilidade da mesma ser superada pelas outras;
- (2) Com base nas relações estabelecidas na etapa anterior, destinação das alternativas para as classes estipuladas, com exceção dos casos de incomparabilidade e indiferença aos perfis limites estabelecidos;
- (3) Classificação das alternativas remanescentes da etapa anterior por meio de comparações binárias, a partir dos fluxos líquidos obtidos com a aplicação do PROMETHEE II.

À princípio, seja $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ um determinado conjunto finito de alternativas e $C = \{g_1, g_2, \dots, g_j\}$ um determinado conjunto de critérios. Dados esses conjuntos, deve existir um peso w_j ($j = 1, 2, \dots, J$), definido pelo tomador de decisão, que representa o grau de relevância de cada critério g_j para a avaliação de um dado cenário problemático. Diante disso, segundo Brans, Vincke e Mareschal [20], pode ser calculado o índice $\pi(a, b)$, que representa a preferência de uma alternativa $a \in A$ sobre uma alternativa $b \in A$, ambas genéricas, a partir da Equação 1,

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j P_j(a, b)}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (1)$$

onde $P_j(a, b)$ representa a função de preferência de a sobre b , que pode adotar valores entre 0 e 1, aumentando à medida que a diferença $g_j(a) - g_j(b)$ aumenta, e adota valor nulo quando $g_j(a) \leq g_j(b)$, onde $g_j(x)$ significa a avaliação da alternativa $x \in A$ para o critério g_j . Nesse ponto, o decisor deve determinar qual função de preferência deve ser aplicada para cada critério relacionado ao problema que está sendo analisado. Diante disso, são estabelecidos seis tipos de funções [21], representados no Quadro 1.

Quadro 1. Tipos de função de preferência entre alternativas (Adaptado de [21, 22])

Tipo	Usual	Quase-critério	Linear
Representação Gráfica			
Parâmetros	-	q (indiferença)	p (preferência)
Tipo	Por Níveis	Linear com área de indiferença	Gaussiana
Representação Gráfica			
Parâmetros	q e p	q e p	s (desvio padrão)

Portanto, com base nas preferências do decisor e no tipo de função escolhida para representar cada critério, devem ser determinados os respectivos parâmetros necessários. Os valores para $P_j(a, b)$ são determinados assumindo as seguintes condições abaixo [19]:

$$\begin{cases} P_j(a, b) = 0, & \text{se } (g_j(a) - g_j(b)) \leq q_j \\ P_j(a, b) = 1, & \text{se } (g_j(a) - g_j(b)) \geq p_j \\ 0 < P_j(a, b) < 1, & \text{se } q_j < (g_j(a) - g_j(b)) < p_j \end{cases} \quad (2)$$

Em sequência, calculados os valores para $\pi(a, b)$, é possível estabelecer duas ordens parciais, resultados do método PROMETHEE I. A primeira é a ordem da força de superação de uma alternativa sobre as demais, construída por meio do fluxo positivo $\varphi^+(a)$. A segunda, por sua vez, é a ordem do grau de fragilidade de uma alternativa sobre todas as outras, estabelecida por meio do fluxo negativo $\varphi^-(a)$. As duas ordens parciais são calculadas, respectivamente, pela Equação 3 e a Equação 4.

$$\varphi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (3)$$

$$\varphi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (4)$$

Segundo Brans e Mareschal [22], quanto maior o fluxo positivo, melhor é a alternativa. De forma análoga, melhor é uma alternativa quanto mais baixo for seu fluxo negativo. Portanto, a partir da diferença entre os fluxos positivos e negativos, é possível obter os fluxos líquidos $\varphi(a)$, que geram a ordem completa das alternativas, resultado do método PROMETHEE II, conforme a Equação 5 a seguir.

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (5)$$

A segunda etapa do PROMSORT pode, então, ser aplicada. Araz e Ozkarahan [19] definem que duas categorias C_h e C_{h+1} são definidas e separadas por um determinado perfil limite b_h . Diante da utilização de uma série de condições de comparação, as alternativas podem ser classificadas como preferíveis com relação ao perfil limite (aPb_h), indiferentes (aIb_h) ou incomparáveis (aRb_h). As condições seguem a seguinte formatação:

$$\begin{cases} aPb_h & \text{se } \begin{cases} \varphi^+(a) > \varphi^+(b_h) & e & \varphi^-(a) < \varphi^-(b_h) \\ \varphi^+(a) = \varphi^+(b_h) & e & \varphi^-(a) < \varphi^-(b_h) \\ \varphi^+(a) > \varphi^+(b_h) & e & \varphi^-(a) = \varphi^-(b_h) \end{cases} \\ aIb_h & \text{se } \begin{cases} \varphi^+(a) = \varphi^+(b_h) & e & \varphi^-(a) = \varphi^-(b_h) \end{cases} \\ aRb_h & \text{se } \begin{cases} \varphi^+(a) > \varphi^+(b_h) & e & \varphi^-(a) > \varphi^-(b_h) \\ \varphi^+(a) < \varphi^+(b_h) & e & \varphi^-(a) < \varphi^-(b_h) \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

A relação de preferência faz com que a alternativa seja alocada a uma das classes. No entanto, algumas alternativas podem não ser alocadas em nenhuma categoria por incomparabilidade ou indiferença ao perfil limite estabelecido. Nesses casos, prossegue-se para a terceira e última etapa do PROMSORT, em que será determinado um ponto de corte b , que assume valores entre 0, para uma ótica otimista do tomador de decisão, e 1, para uma ótica pessimista. Se $b = 1$, as alternativas serão alocadas na classe mais baixa para o determinado perfil limite b_h . Entretanto, se o decisor definir $b = 0$, as alternativas serão classificadas de acordo com uma função distância d_k .

Tal distância d_k é calculada a partir da relação entre o grau de superação (d_k^+) da alternativa a sobre todas as alternativas alocadas na classe C_h e o grau de superação (d_k^-) da mesma alternativa sobre todas aquelas alocadas na classe C_{h+1} , conforme as Equações 7, 8 e 9.

$$d_k^+ = \sum_{x \in C_h} (\varphi(a) - \varphi(x)) \quad (7)$$

$$d_k^- = \sum_{x \in C_h} (\varphi(x) - \varphi(a)) \quad (8)$$

$$d_k = \frac{1}{n_h} d_k^+ - \frac{1}{n_{h+1}} d_k^- \quad (9)$$

onde n_h representa o número de alternativas de referência na categoria C_h , e n_{h+1} representa o número de alternativas de referência na categoria C_{h+1} .

Partindo, por fim, da relação de d_k com ponto de corte b estabelecido, é possível classificar as alternativas que

resultaram em incomparabilidade ou indiferença ao limite de classe b_h . Se $d_k \geq b$, a alternativa será classificada na classe C_{h+1} . Por outro lado, se $d_k < b$, a alternativa será alocada para a classe C_h . Dessa forma, a terceira etapa do método PROMSORT é concluída e todas as alternativas identificadas na análise do problema são destinadas a alguma das categorias de classificação.

3.2. Aplicação numérica para decisão individual e coletiva

Conforme mencionado anteriormente, o presente trabalho trata de uma aplicação numérica para a classificação das vias da cidade de Mossoró/RN quanto ao risco de ocorrência de acidentes de trânsito. Considerando a aplicação individual, o procedimento segue a sequência de etapas descritas no PROMSORT para cada decisor. Portanto, como descrito na seção anterior, durante cada entrevista foram coletadas as informações necessárias para a aplicação do método. Levando em consideração a estrutura dos critérios estabelecidos para a análise, foi determinada a função de preferência do tipo Usual, que permite a utilização tanto para critérios quantitativos quanto qualitativos, para todos os critérios. As Tabelas 2, 3 e 4 a seguir apresentam, respectivamente, os dados dos decisores D1, D2 e D3, contendo, portanto, os pesos, a lógica de cada critério para classificar uma alternativa pelo seu nível de criticidade e os perfis limites estabelecidos.

Assim como foi supracitado, inicialmente foram determinadas três classes. Para cada uma delas, foi destinada uma cor, fazendo alusão às cores do semáforo de trânsito, uma vez que quanto maior a expressividade da criticidade da categoria, é destinada uma cor mais próxima da cor vermelha. Similarmente, quanto menor a expressividade da criticidade, mais próxima da cor verde é a categoria. Desse modo, considerando um cenário em que existem três categorias para as quais serão distribuídas as alternativas, foi necessário definir dois perfis limites, b_1 e b_2 , sendo o primeiro o limite entre as classes Pouco Crítica e Crítica e o segundo, entre as classes Crítica e Muito Crítica.

Tabela 2. Parâmetros determinados pelo Decisor D1. (Autoria própria)

Critério	Peso	Lógica	b_1	b_2
C1	10	Min	1	3
C2	10	Min	1	3
C3	9	Min	0	1
C4	9	Max	40	60
C5	8	Min	14	18
C6	10	Max	2	4
C7	8	Min	10	20
C8	10	Max	5	10

Tabela 3. Parâmetros determinados pelo Decisor D2. (Autoria própria)

Critério	Peso	Lógica	b_1	b_2
C1	10	Min	2	4
C2	10	Min	2	4
C3	8	Min	0	1
C4	10	Max	30	60
C5	9	Max	12	18
C6	8	Min	1	5
C7	9	Max	1	10
C8	10	Max	1	3

Tabela 4. Parâmetros determinados pelo Decisor D3. (Autoria própria)

Critério	Peso	Lógica	b_1	b_2
C1	10	Min	2	3
C2	8	Min	1	3
C3	5	Min	0	1
C4	9	Max	-	-
C5	9	Min	-	-
C6	9	Max	3	5
C7	9	Max	8	9
C8	10	Max	1	2

Diante das tabelas acima, é necessário destacar que, durante a entrevista com o decisor D3, foi decidido não

mensurar valores para os perfis limites para os critérios C4 e C5. Primeiramente, no que diz respeito ao critério C4, o tomador de decisão defendeu que existem uma série de fatores que influenciam na precisão técnica do estabelecimento dos limites de velocidade de uma via. Levando em consideração a subdivisão de uma via em trechos, D3 acredita que deve ser analisado se no determinado trecho possui escolas, se possui faixas de pedestres, a quantidade de habitantes no entorno, se há embarque e desembarque de passageiros e se o trecho configura uma área comercial ou não. Portanto, o decisor não considera o estabelecimento de medidas de velocidade para os perfis limites como informação técnica a ser considerada na pesquisa. O mesmo ocorre para o critério C5. O decisor aponta que existem ruas estreitas que possuem grau de risco de acidente equivalente ao grau de ruas mais largas. Dessa forma, os perfis limites para o critério C5 também não foram estabelecidos.

Em sequência, foi realizada a aplicação numérica por meio de uma ferramenta capaz de lidar com problemática de classificação multicritério: o *software* Visual PROMETHEE. Tal ferramenta foi útil para a rápida obtenção dos *rankings* parciais (fluxos positivos e negativos), resultados do PROMETHEE I, e da ordenação completa (fluxos líquidos), resultado do PROMETHEE II. Em seguida, os fluxos obtidos foram tabelados em planilhas eletrônicas, por meio das quais foram modeladas as condições de comparação entre as alternativas, por meio da Equação 6, para a Etapa II do método PROMSORT. O resultado desta etapa é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Classificação das vias na etapa II do PROMSORT para decisão individual. (Autoria própria)

Decisor	Classes				TOTAL
	Pouco Crítico	Crítico	Muito Crítico	Incomparável com b_1	
D1	34	55	6	2172	2267
D2	4	34	54	2175	2267
D3	59	65	49	2094	2267

Levando em consideração os casos ocorridos de incomparabilidade com o perfil limite b_1 , prosseguiu-se para a etapa III do PROMSORT, para a qual foi necessário estabelecer o ponto de corte b , para o qual foi definido o valor zero. Diante disso, a presente etapa é descrita por meio da aplicação das Equações 7, 8 e 9, e da comparação da distância d_k com o ponto de corte b , realizada, também, em planilhas eletrônicas. Por fim, o resultado da etapa III para a aplicação individual dos tomadores de decisão é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Classificação das vias na etapa III do PROMSORT para decisão individual. (Autoria própria)

Decisor	Classes			TOTAL
	Pouco Crítico	Crítico	Muito Crítico	
D1	34	2227	6	2267
D2	2179	34	54	2267
D3	2153	65	49	2267

Por fim, obtidos os resultados da etapa de classificação individual, é possível seguir para a etapa de classificação coletiva. Nesse contexto, Do Carmo et al. [20] identificaram uma interessante metodologia de relacionamento dos resultados individuais de um grupo de decisores para convergir em um resultado coletivo. Diante disso, tal metodologia foi adaptada para ser aplicada na presente pesquisa e é descrita na Tabela 7. O grau de relevância da classificação de uma alternativa em uma determinada categoria é medido a partir da quantidade de resultados convergentes. Ou seja, a metodologia aplicada na presente etapa parte do princípio dos decisores terem estabelecido uma mesma alternativa a para uma categoria C_h .

Tabela 7. Categorias e condições de classificação para decisão em grupo. (Autoria própria)

Categoria	Condição para $a \in C_h$
Extremamente Crítica	A alternativa deve ter sido classificada como “Muito Crítica” por unanimidade dos decisores
Muito Crítica	A alternativa deve ter sido classificada como “Muito Crítica” por, pelo menos, 51% dos decisores (maioria)
Crítica	A alternativa deve ter sido classificada como “Muito Crítica” pela minoria dos decisores, ou foi classificada como “Crítica” por unanimidade
Moderadamente Crítica	A alternativa deve ter sido classificada como “Crítica” por, pelo menos, 51% dos decisores (maioria)
Pouco Crítica	A alternativa deve ter sido classificada como “Crítica” pela minoria dos decisores, ou foi classificada como “Pouco Crítica” por unanimidade

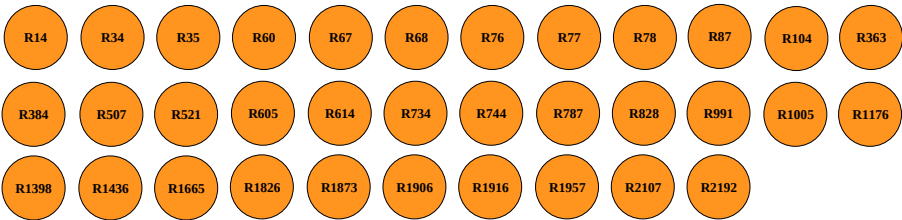
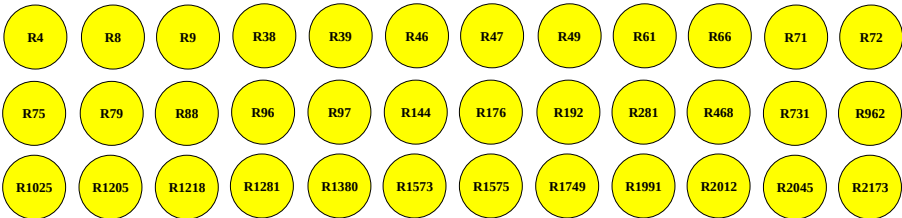
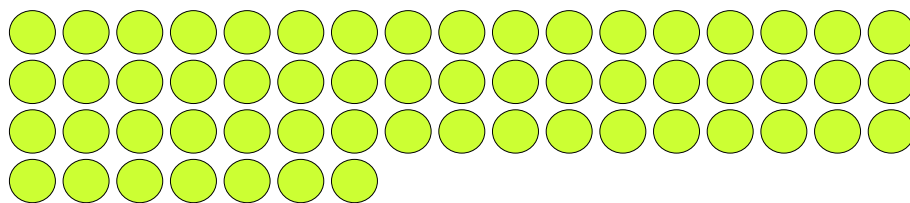
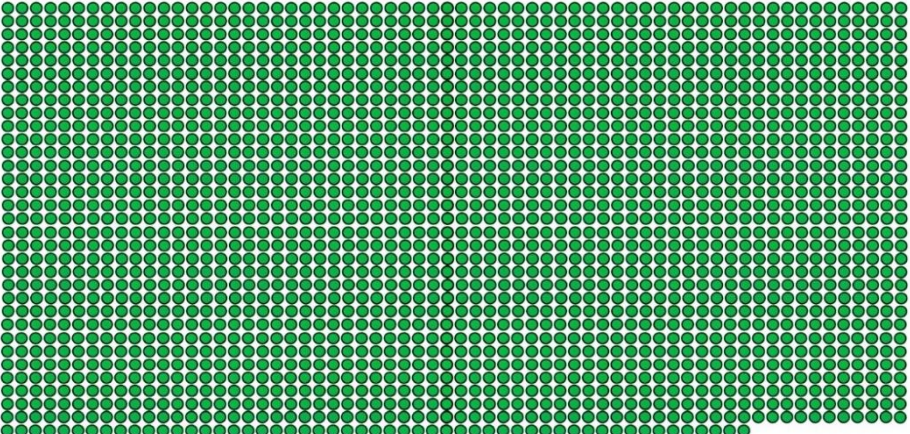
Dessa forma, com base nas condições definidas para a classificação de alternativas para o processo de tomada de decisão em grupo, foi gerada a classificação final das vias da cidade. Para que houvesse a interseção de classificações individuais dos decisores, foram criadas duas outras classes além das que já existiam: “Extremamente Crítica” e “Moderadamente Crítica”. Na seção a seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observando os valores contidos na Tabela 6, constata-se uma considerável diferença entre os resultados obtidos para o decisor D1 e os decisores D2 e D3. Considerando o total de 2267 vias, para o decisor D1, 1,5% das alternativas são pouco críticas, 98,27% são críticas e 0,27% são muito críticas. Para os decisores D2 e D3, por sua vez, essa distribuição de porcentagem ocorre de modo que a grande maioria das alternativas (acima de 94%) são vias pouco críticas, enquanto as porcentagens menores são de vias classificadas nas outras categorias. Isso ocorre devido aos parâmetros definidos por eles durante as entrevistas. Por exemplo, a metodologia adotada para o estabelecimento dos perfis limites pode interferir consideravelmente na classificação para cada decisor.

Nesse contexto, uma vez aplicada a estratégia estabelecida para a comparação dos resultados individuais dos decisores, é apresentada a distribuição final das vias da cidade nas suas devidas categorias no Quadro 2 a seguir, no qual cada círculo representa uma alternativa classificada.

Quadro 2. Classificação final obtida na pesquisa (Autoria própria)

Categorias	Vias classificadas
Extremamente Crítica	
Muito Crítica	
Crítica	
Moderadamente Crítica	
Pouco Crítica	

Como observado no Quadro 2, três vias foram classificadas na categoria “Extremamente Crítica”, sendo elas, segundo a ordem numérica representada no quadro, a Avenida Lauro Monte, a Rua Afonso Pena e a Rua Dona Mariinha Mendes. Em seguida, tem-se que 34 vias foram categorizadas como Muito Críticas. Com base nos códigos impressos nos círculos, tais vias são apresentadas na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8. Vias classificadas na classe “Muito Crítica” (Autoria própria)

Cód.	Nome da via	Trecho viário	Cód.	Nome da via	Trecho viário
R14	Av. Augusto Severo	16843	R734	R. Dr. Mário Negócio	17446
R34	Av. Dix-Neuf Rosado	234	R744	R. Duodécimo Rosado	14310
R35	Av. Dix Sept Rosado	12179	R787	R. Eptácio Pessoa	10004
R60	Av. Mota Neto	13646	R828	R. Felipe Camarão	4485
R67	Av. Presidente Dutra	18674	R991	R. Francisco Solón	3117
R68	Av. Presidente Dutra	6528	R1005	R. Frei Miguelinho	8461
R76	Av. São Jerônimo	10073	R1176	R. Jeremias da Rocha	12451
R77	Av. Senador Petronio Portela	12419	R1398	R. Juvenal Lamartine	12196
R78	Av. Sérvulo Marcelino	2339	R1436	R. Lopes Trovão	3222
R87	Av. Wilson Rosado de Sá – BR-304	2942	R1665	R. Melo Franco	11946
R104	R. Seis de Janeiro	17306	R1826	R. Pedro Velho	14782
R363	R. Bezerra Mendes	11955	R1873	R. Prudente de Moraes	17460
R384	R. Campos Sales	17465	R1906	R. Raimundo Firmino de Oliveira	5351
R507	R. Coronel Gurgel	11060	R1916	R. Raimundo Leão de Moura	14761
R521	R. Coronel Vicente Saboia	11213	R1957	R. Rodrigues Alves	6230
R606	R. Delfim Moreira	3806	R2107	R. Tarcísio Correia	14041
R614	R. Deocleciano Venceslau Paixão	16526	R2192	R. Wenceslau Brás	6181

Seguidamente, 36 vias foram destinadas para a classe “Crítica”, que são apresentadas na Tabela 9. Além dessas, faz-se necessário mencionar que 61 vias foram avaliadas como Moderadamente Críticas e 2133 vias foram classificadas como Pouco Críticas após o resultado da aplicação numérica. Vale destacar que o banco de dados analisado conta com a divisão de algumas vias por trechos viários. Visto isso, a consideração de tal variável atua, na presente pesquisa, para diferenciação das vias que tiveram seus respectivos nomes duplicados nos quadros apresentados.

Tabela 9. Vias classificadas na classe “Crítica” (Autoria própria)

Cód.	Nome da via	Trecho viário	Cód.	Nome da via	Trecho viário
R4	Alameda das Carnaubeiras	2140	R176	R. Alfredo Fernandes	17195
R8	Av. Abel Coelho	19311	R192	R. Amaro Duarte	15646
R9	Av. Abel Coelho	14490	R281	R. Antônio Soares do Couto	10417
R38	Av. Herondina Cavalcante Dantas	19802	R468	R. Coelho Neto	940
R39	Av. Herondina Cavalcante Dantas	7027	R731	R. Dr. João Marcelino	15316
R46	Av. João da Escóssia	19305	R962	R. Francisco Nogueira do Monte	962
R47	Av. João da Escóssia	12923	R1025	R. Genésio Xavier Rebouças	9574
R49	Av. Jorge Coelho Andrade	2218	R1205	R. João Falcão	2481
R61	Av. Nossa Senhora de Fátima	12257	R1218	R. João Manoel de Souza	5756

R66	Av. Presidente Costa e Silva	17408	R1281	R. José Damião	13761
R71	Av. Rio Branco	7778	R1380	R. Jerônimo Rosado	15820
R72	Av. Rio Branco	19345	R1573	R. Marechal Deodoro	8742
R75	Av. Santa Luzia	15044	R1575	R. Marechal Hermes	10114
R79	Av. Walter Wanderley	7281	R1749	R. Nossa Senhora de Guardalupe	10052
R88	BR-405	912	R1991	R. Santa Cristina	14331
R96	RN-015	10185	R2013	R. Santos Dumont	15644
R97	RN-015	19258	R2045	R. Sebastião Benigno de Moura	11441
R143	R. Alberto Maranhão	7143	R2173	R. Vicente Fernandes	17543

Por conseguinte, apesar da quantidade de vias destinada a cada uma das classes para a etapa de decisão individual do método aplicado ser bastante diferentes entre D1 e os demais decisores, a estratégia de interseção de preferências combina os resultados e, a partir de um conjunto de situações e condições, o resultado converge em um resultado satisfatório.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fim da presente pesquisa, ficou evidenciado o potencial das ferramentas multicritério como interessantes metodologias para prestar suporte à tomada de decisão e gerar resultados de fundamentação confiável. Além disso, é válido destacar a possibilidade de integrar diferentes estratégias, técnicas e ferramentas às metodologias MCDA para propor soluções mais satisfatórias aos tomadores de decisão. Neste estudo, portanto, foi aplicada uma estratégia comparativa para gerar os resultados para decisão em grupo. Entretanto, outras técnicas poderiam ter sido utilizadas no decorrer do processo. Durante a etapa de levantamento dos pesos de cada critério, por exemplo, levando em consideração as limitações que o atual contexto pandêmico aplica sobre o processo de pesquisa científica, foi adotada a forma de determinação direta, uma vez que tal maneira pode ser mais adequada à coleta de preferências por videoconferências.

Nesse contexto, para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de novas alternativas para facilitar a coleta de dados, como a lógica *Fuzzy*. Além disso, levando em consideração o suporte que pode ser prestado aos gestores públicos no que tange à gestão de acidentes de trânsito, sugere-se a estratégia de realizar um único momento de entrevista, de modo que todos os decisores, embora tenham preferências distintas, estejam igualmente alinhados com a discussão que pode surgir entre os momentos de coleta de dados. Ainda é sugerida, para trabalhos futuros, a consideração de outros critérios que venham a agregar mais precisão técnica ao resultado obtido, como volume de tráfego diário, frequência de fiscalização dos órgãos de trânsito, nível de movimentação de pedestres no entorno da via e nível de iluminação em período noturno, critérios que envolvem um levantamento mais robusto dos dados das vias do município. A representação espacial também é uma possibilidade para aplicações futuras, uma vez que tal informação pode gerar interessantes *insights* para a gestão pública no que tange à elaboração de planos de intervenção nas vias nas quais foi identificado um maior nível de criticidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Road traffic injuries. 2021. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>>. Acesso em: 21 julho 2021.
- [2] IPEA – Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada. Nota Técnica: Impactos socioeconômicos dos acidentes de transporte no Brasil no período de 2007 a 2018. Ipea, n. 75, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.38116/ntdiset75>>. Acesso em: 17 junho 2021.
- [3] WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Global status report on road safety 2018. [s.l.]: WHO, 2018. 424 p. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>>. Acesso em: 21 julho 2021.
- [4] DENATRAN – Departamento Nacional De Trânsito. Estatísticas – Frota de Veículos – DENATRAN: Frota de veículos – 2010; Frota de veículos – 2020. Governo Federal, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-denatran>>.
- [5] IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. IBGE Cidades: Mossoró. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/mossoro/panorama>>. Acesso em: 25 outubro 2021.
- [6] DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Norte. Distribuição da frota do Rio Grande do Norte, segundo o tipo de veículo em 25/10/2021 às 12:39:13. Disponível em: <http://www2.detrان.rn.gov.br/externo/est_tipo.asp?codcidade=1759>. Acesso em: 25 outubro 2021.
- [7] VINCKE, P. Multicriteria decision aid. Wiley, New York, 1992.

-
- [8] BEHZADIAN, M., KAZEMZADEH, R. B., ALBADVI, A., AGHDASI, M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, v. 200, n. 1, p. 198-215, 2010.
- [9] ZELENY M. (1982): *Multiple criteria decision making*. McGraw Hill. Nova York, USA.
- [10] SIKDER, A. H. M. K., SALEHIN, M. Multi-criteria decision-making methods for rural water supply: a case study from Bangladesh. *Water Policy*, v. 17, n. 6, p. 1209-1223, 2015.
- [11] ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Multicriteria classification and sorting methods: a literature review. *European Journal of Operational Research*, v. 138, n. 2, p. 229-246, 2002.
- [12] THOKALA, P., DUENAS, A. Multiple criteria decision analysis for health technology assessment. *Value in Health*, v. 15, n. 8, p. 1172-1181, 2012.
- [13] Do CARMO, B. B. T., MARGNI, M. BAPTISTE, P. Ranking product systems based on uncertain life cycle sustainability assessment: a stochastic multiple criteria decision analysis approach. *Rev. Adm. UFSM*, Santa Maria, v.13, n.4, p. 850-874, 2020.
- [14] ALMEIDA, A. T. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. 1. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2013.
- [15] ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [16] BELTON, V.; STEWART, T. J. *Multiple criteria decision analysis*. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [17] GUARNIERI, P. Síntese dos principais critérios, métodos e subproblemas da seleção de fornecedores multicritério. *Revista de Administração Contemporânea*, v.19, n.1, p.1 – 25, 2015.
- [18] BRASIL. Ministério da Saúde. Projeto Vida no Trânsito. 2017. Disponível em: <<https://antigo.saude.gov.br/saude-de-a-z/acidentes-e-violencias/41896-projeto-vida-no-transito>>. Acesso em: 25 outubro 2021.
- [19] ARAZ, C.; OZKARAHAN, I. A multicriteria sorting procedure for financial classification problems: the case of business failure risk assessment. In: GALLAGHER, M.; HOGAN, J. P.; MAIRE, F. *Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2005*. IDEAL 2005. Lecture notes in computer science, vol. 3578. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [20] Do CARMO, B. B. T.; CASTRO, G. O.; GONÇALO, T. E. E; UGAYA, C. M. L. Participatory approach for pertinent impact subcategory identification: Local community. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v.26, p.950–962, 2021.
- [21] BRANS, J.P.; VINCKE, Ph.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The Promethee method. *European Journal of Operational Research*, v. 24, n. 2, p. 228-238, 1986.
- [22] BRANS, J. P; MARESCHAL, B. Promethee methods. In: MARESCHAL et al. *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. International Series in Operations Research & Management Science, v. 78. Springer, New York, 2005.
-