PROPOSTA DE MODELO ESPACIAL DE CLASSIFICAÇÃO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO EM GRUPO PARA APOIAR A TOMADA DE DECISÃO NA GESTÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

Murilo Alves de Albuquerque Damasceno
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
Rua Francisco Mota, 572 - Bairro Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900
muriloaadamasceno@hotmail.com

Thomas Edson Espíndola Gonçalo
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
Rua Francisco Mota, 572 - Bairro Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900
thomas.goncalo@ufersa.edu.br

Miriam Karla Rocha
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
Rua Francisco Mota, 572 - Bairro Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900
miriam.rocha@ufersa.edu.br

Eric Amaral Ferreira
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
Rua Francisco Mota, 572 - Bairro Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900
eric@ufersa.edu.br

RESUMO

A quantidade de óbitos decorrentes de lesões por transportes é preocupante em todo o planeta, e no Brasil não é diferente. Todos os dias são notificados milhares de acidentes fatais em território nacional. Diante disso, as autoridades públicas necessitam de estratégias eficientes que sejam capazes de reduzir tal índice. Nesse contexto, é proposto um modelo multicritério de apoio espacial à decisão em grupo, segundo as preferências de múltiplos decisores com experiência na gestão de trânsito do município de Mossoró/RN. Para tanto, foi aplicado o método PROMSORT para classificar as vias do município conforme o risco para a ocorrência de acidentes de trânsito e uma estratégia baseada na quantidade de resultados coincidentes para convergir as decisões individuais em uma única decisão coletiva. A classificação final foi estabelecida conforme cinco categorias que representam diferentes níveis de criticidade e o resultado foi representado em Sistemas de Informação Geográfica através de camadas vetoriais.

PALAVRAS-CHAVE. Análise multicritério. Acidentes de trânsito. Informação geográfica.

Tópicos (Apoio à Decisão Multicritério; Informação Georreferenciada; Segurança Pública)

ABSTRACT

The number of deaths resulting from transport injuries is worrying all over the planet, and this is no different in Brazil. Thousands of fatal accidents are reported every day in the country. Given this, public authorities need efficient strategies that can reduce this rate. In this context, a multi-criteria model of spatial support for group decision is proposed, according to the preferences of multiple decision-makers with experience in traffic management in the city of Mossoró/RN. Therefore, the PROMSORT method was applied to classify the city's roads according to the risk for the occurrence of traffic accidents, and a strategy based on the number of coincident results to convert individual decisions into a single collective decision. The final classification was

established according to five categories that represent different levels of criticality and the result was represented in Geographic Information Systems through vector layers.

KEYWORDS. Traffic accidents. Multicriteria analysis. Geographic information.

Paper topics (Multicriteria Decision Aid; Georeferenced Information; Public Security)

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), 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 [WHO 2021]. 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, mais de 90% dos óbitos decorrentes de lesões de trânsito é concentrada nos países de baixa e média renda [WHO 2021]. Diante deste cenário, é oportuno destacar o custo econômico desses acidentes para a sociedade 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) gastou mais de R$1,5 trilhão com acidentes por transportes entre os anos de 2007 e 2018, registrando, nesse período, aproximadamente 480 mil óbitos no trânsito [IPEA 2021].

Apesar dos acidentes causados pela imprudência e demais particularidades comportamentais dos condutores dos veículos, uma série de características das vias também pode representar uma elevada influência no cenário de trânsito brasileiro [Rocha 2020]. Por exemplo, 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 colisões 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 o panorama geral da situação, assim os gestores e pesquisadores de transportes teriam subsídios para prevenção de acidentes de trânsito.

Em se tratando de ferramentas matemáticas, evidenciam-se os modelos multicritério de apoio à decisão. Esta pesquisa, no que lhe concerne, trata da aplicação do método PROMSORT (do inglês, *PROMETHEE Sorting*), um método multicritério que soluciona a problemática de classificação de possibilidades em uma determinada situação. Dos trabalhos encontrados na literatura que propõem diferentes aplicações do PROMSORT, destacam-se estudos em que esse método é considerado como principal ferramenta para apoiar a tomada de decisão. Silva et al., por exemplo, aplicaram esse método para apoiar a seleção de fornecedores de serviços de conserto de motores elétricos de indução [Silva et al. 2009]. Do Carmo et al., por sua vez, exploraram o potencial do PROMSORT em uma aplicação para decisão em grupo para determinar critérios sociais que devem ser considerados em um estudo para Avaliação do Ciclo de Vida Social, a partir de uma abordagem participativa junto à uma comunidade local [Do Carmo et al. 2021].

Diante disso, para a realização da presente pesquisa, foi estabelecido o objetivo de explorar o potencial dos modelos multicritério de apoio à decisão para classificar as vias de uma cidade de médio porte, aplicando o método PROMSORT para o problema de classificação coletiva de alternativas conforme as preferências de um grupo de decisores. Foi determinado, ainda, um outro objetivo, sendo este de representar os resultados da aplicação multicritério em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Portanto, este estudo apresenta potencial como uma forte ferramenta para eficazes análises a respeito do cenário de trânsito municipal, com capacidade para auxiliar no planejamento de ações de intervenção e controle de ocorrências diante da observação da distribuição das vias que apresentam maior probabilidade para colisões de trânsito.

Tendo em vista, portanto, uma melhor compreensão deste estudo, o referido artigo foi subdividido em seções. Na primeira seção consta a introdução ao contexto dos acidentes por

transportes de uma forma geral. Em seguida, é apresentada uma breve fundamentação teórica sobre os principais conceitos abordados na pesquisa. Na seção seguinte, é apresentado e detalhado o modelo científico aplicado na pesquisa e todo o método multicritério. Na seção 4 são apresentados e discutidos os resultados da aplicação numérica e da representação em SIG. Na seção 5 são feitas considerações finais sobre o trabalho de uma forma geral e, por fim, são apresentadas as referências bibliográficas consideradas na pesquisa.

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, ou *Multicriteria Decision Making* – MCDM), que podem facilitar o processo de análise de dados mais robustos e, com isso, prestar suporte aos tomadores de decisão para solução de problemas complexos de uma forma eficaz [Vincke 1992]. Os métodos multicritério buscam avaliar alternativas com problemáticas reais baseadas em critérios conflitantes [Behzadian et al. 2010], sendo capaz de solucionar tais conflitos e fornecer praticidade de avaliação das alternativas para apoiar a tomada de decisão em diversos campos de atividade humana [Zeleny 1982].

Nesse contexto, destacam-se aplicações de métodos MCDA na área da medicina, na gestão ambiental e de insumos energéticos, no setor financeiro e econômico, marketing, dentre outros [Zopounidis e Doumpos 2002]. Em cada uma das áreas, os modelos multicritério 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 [Thokala e Duenas 2012].

Vale salientar que, em termos quantitativos, as ferramentas MCDA são numerosas. Além disso, cada ferramenta possui suas respectivas características específicas de análise de diferentes cenários problemáticos. Portanto, a escolha do método a ser utilizado para um determinado estudo depende do tipo do problema que se espera solucionar. Nesse contexto, a abordagem multicritério pode ser aplicada para diferentes cenários de problemas nos quais são consideradas as preferências tanto de uma única entidade responsável pela tomada de decisão quanto de um grupo de indivíduos, cujas preferências devem convergir em uma decisão coletiva [Almeida 2013].

Além disso, as diferentes categorias de problemas dos métodos MCDA são subdivididas em quatro categorias: escolha, classificação, ordenação e descrição [Roy 1996]. 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, outras duas categorias de problemas são definidas [Belton e Stewart 2002]: 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.

3. Estruturação do método

O modelo adotado para o desenvolvimento deste trabalho segue a sequência de etapas descritas na Figura 1. Na Etapa 1 foi identificada e estruturada a problemática existente acerca da gestão de trânsito no município de Mossoró/RN. Em seguida, na Etapa 2, foram coletados os dados já existentes sobre as características das vias da cidade a partir de um produto gerado por um projeto de extensão de um docente da UFERSA com formação e atuação em Engenharia dos Transportes. Tais dados compreendem 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, através de um banco 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 para os acidentes de trânsito que ocorreram na cidade durante esse período.

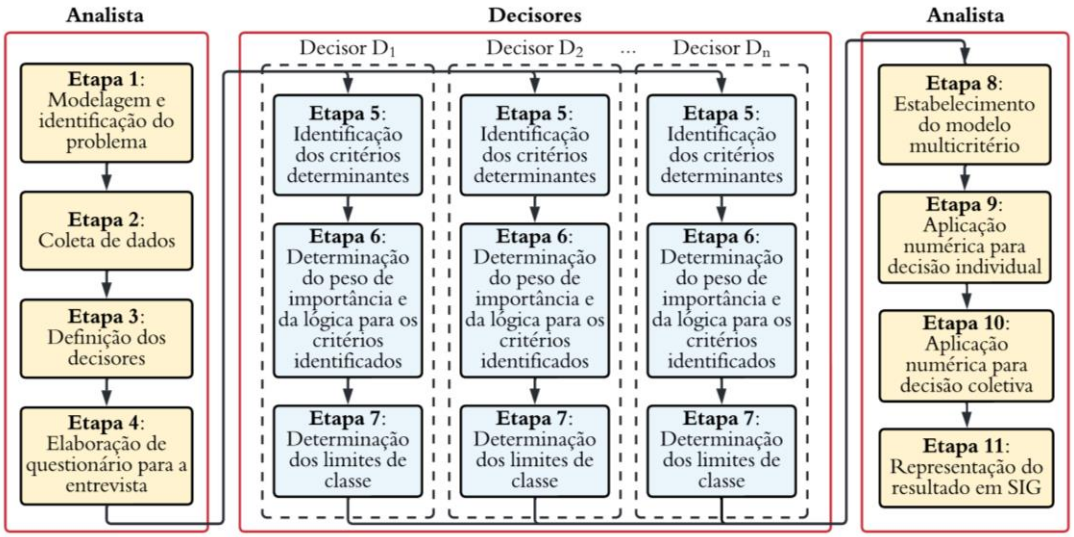


Figura 1: Etapas do modelo multicritério. (Adaptado de [Gonçalo e Morais 2018])

Na Etapa 3, partindo do conhecimento das organizações à frente da gestão de trânsito no município, foi identificado o grupo de decisores que seriam 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 [Brasil 2021]. O primeiro decisor (D1) 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 local. 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 contexto pandêmico ocasionado pelo vírus SARS-CoV-2, causador da doença COVID-19, no momento de realização da presente pesquisa, adotou-se a estratégia de realizar entrevistas por videoconferências para coletar as preferências dos tomadores de decisão. Para tanto, na Etapa 4, foi elaborado um questionário na forma de recurso visual projetável para ser exibido durante as entrevistas. O questionário foi montado 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 seja 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. Torna-se explícito, portanto, que a entrevista com D1 ocorreu no dia 31 de maio de 2021, durando 32 minutos; a entrevista com D2 foi realizada em 08 de junho do mesmo ano, com duração de 47 minutos; e, com D3, ainda no mesmo ano, a entrevista ocorreu no dia 18 de junho, durando 54 minutos.

Ainda durante a entrevista, na Etapa 5, após a coleta das informações pessoais de cada entrevistado, foram coletadas suas preferências para uma lista predeterminada de oito critérios identificados no banco de dados coletado. Foi certificado, então, em cada entrevista, se cada critério é relevante para determinar o risco para a ocorrência de acidentes em uma via, e se os decisores gostariam de acrescentar mais algum para a análise. Todos os critérios pré-identificados foram tidos como determinantes para a compreensão do problema e 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 6, 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 risco de acidentes. 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 cada um, em sua individualidade, 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, na qual a ordem das alternativas não tem relevância no resultado. Nesse ponto, por unanimidade, foi escolhido o método de classificação. Dessa forma, inicialmente, 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, na Etapa 7 foi solicitado que os decisores definissem valores que caracterizassem a fronteira entre as classes. Tais valores foram definidos segundo as escalas que representam 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, na Etapa 8, de acordo com o conjunto de preferências dos decisores, o método multicritério estabelecido foi o método PROMSORT. Levando-se em consideração características da família de métodos PROMETHEE, 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 [Do Carmo et al. 2021].

Em seguida, após ter sido estabelecido o método para a execução da pesquisa, na Etapa 9 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 de decisão

coletiva entre os três decisores entrevistados e, diante disso, na etapa 10 foi gerada a classificação final das vias. Por último, na etapa 11, em posse dos resultados de classificação coletiva, foi realizada a representação desses dados em um software gratuito de geoprocessamento tendo em vista uma melhor compreensão e visualização dos resultados obtidos tanto por parte do analista como também pela administração pública.

3.1. Método PROMSORT

Existem dois diferentes tipos de classificação de alternativas por meio de métodos multicritérios [Zopounidis e Doumpos 2002]: (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 complementares agregadas, 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 método PROMSORT é tido como um método de classificação ordinal [Araz e Ozkarahan 2005].

A aplicação do PROMSORT segue uma estrutura de três etapas consecutivas [Araz e Ozkarahan 2005]:

1) Estabelecimento das relações de superação entre as alternativas, aplicando o método 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, é realizada a destinação das alternativas para as classes estipuladas, com exceção daquelas que resultaram em incomparabilidade ou 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 = $\{a_1, a_2, \cdots, a_n\}$ um determinado conjunto finito de alternativas e seja G = $\{g_1, g_2, \cdots, g_j\}$ um determinado conjunto de critérios. Dados esses conjuntos, deve existir um peso w_j, definido pelo tomador de decisão, onde j = (0, 1, 2, ⋯, J) representa a escala de avaliação do critério, e cujo limite J deve ser estabelecido pelo tomador de decisão. Os pesos w_j, ainda, representam o grau de relevância de cada critério g_j para a avaliação de um dado cenário problemático. Diante disso, pode ser calculado o índice π (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,

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

onde $P_j(a,b)$ representa a função de preferência de uma alternativa a sobre uma alternativa 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 $g_j(a)$, por exemplo, significa o desempenho da alternativa $a \in A$ para o critério g_j [Brans et al. 1986].

Nesse ponto, o decisor deve determinar qual função de preferência deve ser aplicada para cada critério relacionado ao problema que está sendo analisado. São estabelecidos seis tipos de funções, cujos valores variam entre 0 e 1 [Brans e Mareschal 2005]: I) Função Usual; II) Função Quase-Critério; III) Função Linear; IV) Função Por Níveis; V) Função Linear com Área de Indiferença; e VI) Função Gaussiana. Portanto, com base nas preferências do decisor e no tipo de função escolhida para representar cada critério, devem ser determinados os respectivos parâmetros requeridos por cada função, seja de preferência (p) ou de indiferença (q). Os valores para $P_j(a,b)$ são determinados assumindo as seguintes condições abaixo [Araz e Ozkarahan 2005]:

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

Em sequência, ainda na primeira etapa do PROMSORT, uma vez 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 ou fraqueza 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.

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

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

Quanto maior o fluxo positivo, melhor é a alternativa, assim como quanto mais baixo for seu fluxo negativo [Brans e Mareschal 2005]. 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.

$$\varphi(a) = \varphi^+(\alpha) - \varphi^-(a) \tag{5}$$

A segunda etapa do PROMSORT pode, a partir de então, ser aplicada. Define-se que duas categorias C_h e C_{h+1} são definidas e separadas por um determinado perfil limite b_h [Araz e Oskarahan 2005]. 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:

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

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 nessa etapa por incomparabilidade ou indiferença aos limites de classe estabelecidos. Nesses casos, prossegue-se para a terceira e última etapa do PROMSORT, na qual deverá ser determinado um ponto de corte (k), que assume valores entre 0, para uma ótica otimista do tomador de decisão, e 1, para uma ótica pessimista. Se $k = 1$, as alternativas serão alocadas na classe mais baixa para o determinado perfil limite b_h que apontou a indiferença ou incomparabilidade. Entretanto, se o decisor definir $k = 0$, 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.

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

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

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

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

4. Resultados e discussões

Considerando a aplicação do método, o procedimento segue a sequência de etapas do PROMSORT para cada decisor. Portanto, durante cada entrevista foram coletadas as informações necessárias para a aplicação do método. Levando em consideração a estrutura dos critérios estabelecidos para a aplicação, foi determinada a função de preferência do tipo Usual, que permite uma aplicação tanto para critérios quantitativos quanto qualitativos, para todos os critérios, não necessitando estabelecer parâmetros de preferência ou indiferença. O Quadro 2 apresenta as preferências 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.

Como já enunciado, 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.

Quadro 2: Parâmetros determinados pelos tomadores de decisão (Autoria própria)

Decisores	Parâmetros	Critérios							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
D1	Peso	10	10	9	9	8	10	8	10
	Logica	Min	Min	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	b_1	1	1	0	40	14	2	10	5
	b_2	3	3	1	60	18	4	20	10
D2	Peso	10	10	8	10	9	8	9	10
	Logica	Min	Min	Min	Max	Max	Min	Max	Max
	b_1	2	2	0	30	12	1	1	1
	b_2	4	4	1	60	18	5	10	3
D3	Peso	10	8	5	9	9	9	9	10
	Logica	Min	Min	Min	Max	Min	Max	Max	Max
	b_1	2	1	0	-	-	3	8	1
	b_2	3	3	1	-	-	5	9	2

Diante do quadro acima, é necessário destacar que, durante a entrevista, o decisor D3 preferiu não especificar valores para os limites de classe para os critérios C4 e C5, apesar de

considerar ambos com peso de importância elevado. No que diz respeito ao critério C4, o tomador de decisão defendeu que deve ser analisado se existem escolas na via, se existem faixas de pedestres, a quantidade de habitantes no entorno, se há embarque e desembarque de passageiros e se a via faz parte de uma área comercial ou não. Portanto, o decisor preferiu não especificar esses parâmetros. Da mesma forma, os perfis limites para o critério C5 não foram estabelecidos, uma vez que D3 aponta que existem ruas estreitas com o mesmo risco de acidente que ruas mais largas.

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, nas quais foram modeladas as condições de comparação entre as alternativas explicitadas na Equação 6, para a Etapa II do método PROMSORT. O resultado desta etapa é apresentado na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2: Resultado da 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, na qual foi necessário estabelecer o ponto de corte k. Tal valor foi definido como 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 k, etapa que foi realizada, também, em planilhas eletrônicas. Por fim, o resultado da etapa III para a aplicação individual dos tomadores de decisão é apresentado na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Resultado 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

Observando os valores contidos na tabela acima, constata-se uma considerável diferença entre os resultados obtidos para o decisor D1 e os decisores D2 e D3. Isso ocorre devido aos parâmetros definidos por eles durante as entrevistas. Por exemplo, a percepção do decisor sobre o problema na cidade reflete no estabelecimento dos perfis limites pode interferir consideravelmente na classificação das alternativas para cada decisor.

Por fim, obtidos os resultados da etapa de classificação individual, é possível seguir para a etapa de classificação coletiva. Nesse contexto, foi aplicada uma metodologia de relacionamento dos resultados individuais coincidentes de um grupo de decisores para convergir em um resultado coletivo, a partir de uma série de condições descritas na Tabela 4. O grau de relevância da classificação de uma alternativa em uma determinada categoria é medido a partir da quantidade de resultados coincidentes. Ou seja, a estratégia aplicada parte do princípio dos decisores terem estabelecido uma mesma alternativa a para uma mesma categoria C_h.

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.

Tabela 4: Metodologia de relacionamento para a decisão coletiva. (Adaptado de Do Carmo et al. 2021])

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

Nesse contexto, uma vez aplicada a estratégia estabelecida para a comparação dos resultados individuais dos decisores, é obtida a distribuição final das vias da cidade nas suas devidas categorias. Após a aplicação da metodologia de relacionamento de resultados individuais, três vias foram classificadas na categoria “Extremamente Crítica”, sendo elas a Avenida Lauro Monte, a Rua Afonso Pena e a Rua Dona Mariinha Mendes. Ainda, 34 vias foram categorizadas como “Muito Críticas”, 36 vias foram destinadas para a classe “Crítica”, 61 vias foram avaliadas como “Moderadamente Críticas” e 2133 vias foram classificadas como “Pouco Críticas”.

Apesar da quantidade de vias destinada a cada uma das classes para a etapa de decisão individual do método aplicado ser bastante diferente entre D1 e os demais decisores, a estratégia de interseção de preferências combina os resultados e, a partir da modelagem de uma série de condições em planilhas eletrônicas, o resultado convergiu em um resultado satisfatório. A representação geográfica desse resultado pode ser visualizada na Figura 2 abaixo.

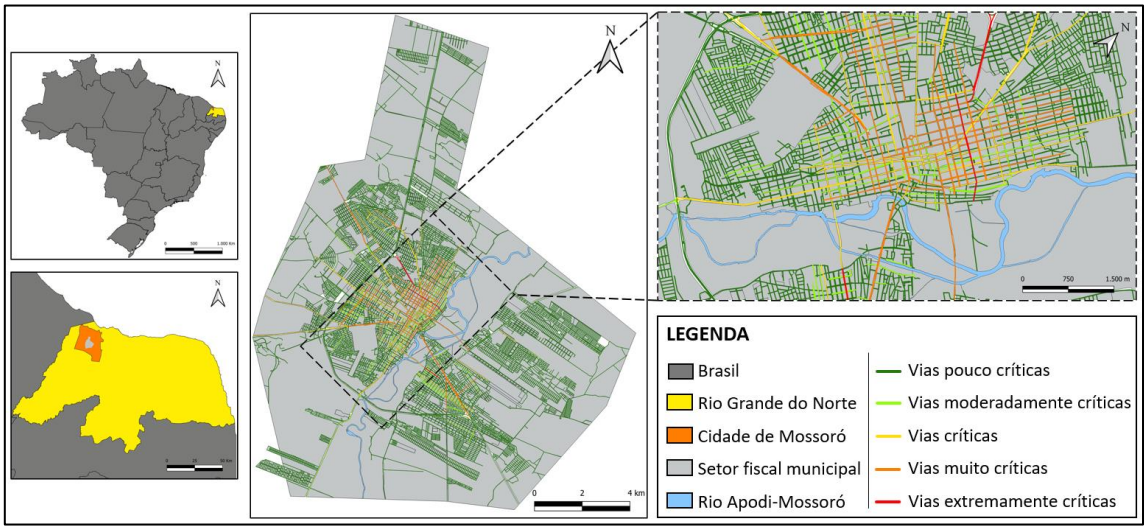


Figura 2: Representação do resultado da classificação em SIG. (Autoria própria)

É interessante destacar que, uma vez que o resultado da classificação já foi representado integralmente em SIG, há a possibilidade de os gestores observarem a representação visual das suas preferências coletadas na pesquisa. Ainda é possível observar, com maior grau de detalhe, as

principais áreas da cidade, que possuem maior concentração de vias críticas e muito críticas, como mostra a Figura 2 acima. A ampliação da área hachurada na Figura representa a liberdade de observação dos gestores sobre as vias mais críticas do município, podendo traçar estratégias de intervenção em pontos mais específicos e precisos no combate à frequência de acidentes de trânsito na cidade. Nessa área, é possível verificar que existe uma tendência de concentração das vias de maior criticidade nos bairros Centro, Bom Jardim, Paredões, Santo Antônio e Nova Betânia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fim da presente pesquisa, ficou evidenciado o potencial das ferramentas multicritério, combinadas com plataformas de geoprocessamento, como interessantes metodologias para prestar suporte à tomada de decisão e gerar resultados com fundamentação confiável. Além disso, é válido destacar a possibilidade de integrar outras diferentes estratégias, técnicas e ferramentas às metodologias MCDA para propor soluções mais satisfatórias aos tomadores de decisão.

Neste estudo foi aplicada uma estratégia comparativa para gerar os resultados para decisão em grupo. Durante a etapa de levantamento dos pesos de cada critério, levando em consideração as limitações que o contexto pandêmico aplica sobre o processo de pesquisa científica, foi adotada uma forma de determinação direta, uma vez que tal maneira pode ser mais adequada à coleta de preferências por videoconferências. No entanto, para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de ferramentas para trazer dinamicidade no processo de coleta de preferências, como a lógica *Fuzzy*. Além disso, com o objetivo de fornecer um melhor suporte 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, possam estar igualmente alinhados com a discussão que pode surgir entre os momentos de coleta de preferências.

Ainda é sugerida 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 esses que foram sugeridos como determinantes pelos entrevistados durante os momentos de entrevistas e que, naturalmente, envolvem um levantamento mais robusto dos dados das vias do município.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. T. (2013). Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério. 1. ed. São Paulo: Editora Atlas.

ARAZ, C.; OZKARAHAN, I. (2005). 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.

BEHZADIAN, M., KAZEMZADEH, R. B., ALBADVI, A., AGHDASI, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. European Journal of Operational Research, v. 200, n. 1, p. 198-215.

BELTON, V; STEWART, T. J. (2002). Multiple criteria decision analysis. Kluwer Academic Plubishers.

BRANS, J. P; MARESCHAL, B. (2005). 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.

BRANS, J.P.; VINCKE, Ph.; MARESCHAL, B. (1986). How to select and how to hank projects: The Promethee method. European Journal of Operational Research, v. 24, n. 2, p. 228-238.

BRASIL (2017). Ministério da Saúde. Projeto Vida no Trânsito. Disponível em: <https://antigo.saude.gov.br/saude-de-a-z/acidentes-e-violencias/41896-projeto-vida-no-transito>. Acesso em: 25 outubro 2021.

Do CARMO, B. B. T.; CASTRO, G. O.; GONÇALO, T. E. E; UGAYA, C. M. L. (2021). Participatory approach for pertinent impact subcategory identification: Local community. International Journal of Life Cycle Assessment, v.26, p. 950–962.

GONÇALO, T. E. E., MORAIS, D. C. (2018). Supplier selection model for a Brazilian oil company based on a multi-criteria group decision approach. South African Journal of Business Management, 49(1).

IPEA – Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada (2020). Nota Técnica: Impactos socioeconômicos dos acidentes de transporte no Brasil no período de 2007 a 2018. Ipea, n. 75. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.38116/ntdiset75>. Acesso em: 17 junho 2021.

ROCHA, M. K. (2020). Abordagens multivariadas aplicadas em dados de sistemas de transportes. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROY, B. (1996). Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Kluwer Academic Publishers.
SIKDER, A. H. M. K., SALEHIN, M. (2015). Multi-criteria decision-making methods for rural water supply: a case study from Bangladesh. Water Policy, v. 17, n. 6, p. 1209-1223.

SILVA, A. L. D., CAVALCANTE, C. A. V., VASCONCELOS, N. V. C. (2015). A multicriteria decision model to support the selection of suppliers of motor repair services. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 84, n. 1-4, p. 523–532.

THOKALA, P., DUENAS, A. (2012). Multiple criteria decision analysis for health technology assessment. Value in Health, v. 15, n. 8, p. 1172-1181.

VINCKE, P. (1992) Multicriteria decision aid. Wiley, New York.

WHO – World Health Organization (2018). Global status report on road safety 2018. WHO. 424 p. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>. Acesso em: 21 julho 2021.

WHO – World Health Organization (2021). Road traffic injuries. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. Acesso em: 21 julho 2021.

ZELENY M. (1982): Multiple criteria decision making. McGraw Hill. Nova York, USA.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. (2002). Multicriteria classification and sorting methods: a literature review. European Journal of Operational Research, v. 138, n. 2, p. 229-246.