

Estudo sobre a premiação das áreas de segurança pública no Rio de Janeiro via método multicritério: uma aplicação do método Electre III

Study on the award of public safety areas in Rio de Janeiro via multicriteria method: an application of the Electre III method

 Marcio Pereira Basilio¹
 Valdecy Pereira²

Resumo

O presente estudo aplicou um *multi-criteria decision analysis* (MCDA) para obtenção do ranking das Áreas Integradas de Segurança Pública (AISP), para fins de premiação pelo Sistema Integrado de Metas (SIM). A aplicação de um MCDA teve o objetivo de eliminar o efeito compensatório dos critérios, evitando que o sucesso em um critério compensasse o fracasso em outro. O método escolhido foi ELECTRE III (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*), pois o problema em análise adequava-se ao tipo (P.y). Quanto aos fins, a metodologia pode ser classificada como metodológica e aplicada e quanto aos meios, bibliográfica, documental e de laboratório. Os dados foram obtidos em colaboração com a Polícia Militar do Estado do Rio de Janeiro, em janeiro de 2017, referindo-se à 12ª edição de premiação do SIM, ocorrida no primeiro semestre de 2015. A escolha desta edição deu-se pelo fato de ser a única em que onze AISPs empataram em primeiro lugar. Para efeito de geração das matrizes de concordância, discordância, credibilidade, ranking parcial e final, foi utilizado o software J-Electre. Como resultado da aplicação do método ELECTRE III, obteve-se um ranking sem empate entre as três primeiras colocações. A eliminação do efeito compensatório pode ser percebida comparando-se os resultados obtidos pelo SIM versus o ELECTRE III, onde a ordem de classificação das unidades foi alterada em 94,87%.

Palavras-chave: MCDA. ELECTRE III. Segurança Pública. J-Electre.

Abstract

The present study applied a multi-criteria decision analysis (MCDA) to obtain the ranking of the Integrated Public Security Areas (AISP), for purposes of awarding the Integrated Goal System (SIM). The application of a MCDA had the objective of eliminating the compensatory effect of the criteria, avoiding that success in one criterion compensated for failure in another. The chosen method was ELECTRE III (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*), because the problem in analysis was adapted to the type (P.y). As for the purposes, the methodology can be classified as methodological and applied and as for the bibliographical, documentary and laboratory means. The data were obtained in collaboration with the Military Police of the State of Rio de Janeiro, in January 2017, referring to the 12th edition of the SIM award, held in the first half of 2015. The choice of this edition was due to the fact that be the only one in which 11 ISPs have tied in the first place. J-Electre software was used to generate matrices of agreement, disagreement, credibility, partial and final ranking. As a result of the application of the ELECTRE III method, a ranking was obtained without a tie between the first three places. The elimination of the compensatory effect can be perceived by comparing the results obtained by the SIM versus the ELECTRE III, where the order of classification of the units was changed by 94,87%.

Keywords: MCDA. ELECTRE III. Public security. J-Electre.

¹Universidade Federal Fluminense, Doutor em Engenharia de Produção, atualmente exerce o cargo de Subsecretário Geral da Secretaria de Estado de Polícia Militar, Niterói, RJ, Brasil
marciopbasilio@gmail.com

²Universidade Federal Fluminense, Doutor, Professor da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil
valdecy.pereira@gmail.com

1 Introdução

Tomar decisão é uma importante parte das atividades humanas. Algumas decisões são relativamente simples, outras complexas (Behzadian, Otaghsara, Yazdani, & Ignatius, 2012). Especialistas asseveram (Govindan & Jepsen, 2016; Kahraman, Onar, & Oztaysi, 2015) que algumas decisões podem ser relativamente simples, especialmente se as consequências de uma má decisão são pequenas, enquanto outras podem ser muito complexas e ter significantes consequências. Os problemas de decisão na vida real, em geral, envolvem vários pontos de vista conflitantes, que devem ser levados em conta conjuntamente, a fim de chegar a uma decisão razoável (Wang, Jing, Zhang, & Zhao, 2009).

No campo da segurança pública, os gestores enfrentam diversos desafios para entregar a sociedade um serviço de qualidade, que minimize a incidência criminal, e proporcione um aumento na sensação de segurança das pessoas. Em 2009, o governo do Estado do Rio de Janeiro, criou um programa para avaliar as ações desenvolvidas pelas unidades policiais. Ao longo dos últimos dez anos o governo investiu mais de 339 milhões de reais no pagamento de premiação às unidades policiais que atingiram as metas propostas para redução dos índices de criminalidade. Neste sentido, a presente pesquisa abordará aplicação de um método MCDA para realizar comparação entre os resultados apresentados pelo Sistema Integrado de Metas – SIM, tendo como base os resultados da décima segunda edição da premiação das Áreas Integradas de Segurança Pública (AISPs) que alcançaram as metas estipuladas para os Indicadores Estratégicos de Criminalidade no estado do Rio de Janeiro. O estudo busca resposta para a seguinte questão: Como reduzir o efeito compensatório dos critérios de classificação das Áreas Integradas de Segurança Pública que alcançaram as metas estabelecidas para os indicadores de criminalidade?

Como objetivo principal a pesquisa pretende reduzir o efeito compensatório dos critérios de classificação das AISP que alcançaram as metas estabelecidas para os indicadores de criminalidade, por meio da aplicação de um método MCDA.

A modelagem do problema, com o método ELECTRE III, resultou em 94,87% de alterações de posição no ranking final em comparação com a classificação do modelo SIM. Apresentou a distinção dos três primeiros colocados, em detrimento das onze AISP empatadas em primeiro lugar no modelo vigente, o que implica diretamente na redução do custo do programa.

O presente artigo se subdivide em cinco seções: A primeira apresenta uma breve introdução. A segunda apresenta um overview dos métodos multicritério; como os MCDA são aplicados na segurança pública; como foi feita a escolha do método adequado ao problema estudado; um panorama da família ELECTRE; a descrição do método escolhido; as determinantes do contexto investigado; o diagnóstico da situação problema; a descrição do método vigente que será comparado com o MCDA. A terceira seção

descreve a metodologia aplicada à resolução do problema estudado. A quarta seção consiste na aplicação numérica e apresentação dos resultados. Na quinta seção são apresentadas as considerações finais dos autores.

2 Revisão da literatura

2.1 Um overview sobre multicritério

Os *Multiple criteria decision analysis* (MCDA) preocupam-se com a avaliação de uma coleção de possíveis cursos de ação ou opções e esta avaliação poderia ser na forma de selecionar uma opção mais preferida, classificar as opções do melhor para o pior (Durbach & Stewart, 2012). No cotidiano das organizações, a aplicação do MCDA é crucial na alocação de recursos finitos entre alternativas e interesses concorrentes (Diaby, Campbell, & Goeree, 2013). É comum, pesquisadores se referirem aos métodos multicritério de formas diferentes. Frequentemente referem-se como *multi-criteria decision making* ou *multiple criteria decision making* (MCDM). Alguns autores preferem o nome *multiple criteria decision aid* ou *aiding* (MCDA), conforme (Roy, 1990). Outros usam a designação de *multiple criteria decision analysis*.

Segundo (Vincke, 1992), um problema com enfoque multicritério se apresenta em circunstâncias em que diversas alternativas deverão ser avaliadas considerando um grupo predefinido de critérios com foco nos seguintes objetivos:

- i. seleção de alternativas com melhor desempenho;
- ii. classificação das alternativas em classes estabelecidas previamente; e
- iii. ordenação das alternativas.

MCDA é um subcampo da pesquisa operacional e da ciência da administração (Govindan & Jepsen, 2016). A análise de decisão multicritérios (MCDA) é uma abordagem de guarda-chuva que foi aplicada a uma ampla gama de situações de gerenciamento de recursos (Belton & Stewart, 2002; Mendoza & Martins, 2006). A mais de meio século tem atraído atenção de pesquisadores para resolução de uma diversidade de problemas em vários campos do conhecimento. Inúmeras publicações têm relatado suas aplicações nos mais diversos métodos que compreendem seu universo de estudo, como por exemplo (Bahadori, Abolghasemi, & Teymourzadeh, 2017; Zyoud & Fuchs-Hanusch, 2017; Mousavi-Nasab & Sotoudeh-Anvari, 2017; Wan, Xu, & Dong, 2017). Conforme (Govindan & Jepsen, 2016; Mendoza & Martins, 2006) várias classificações de métodos MCDA tem sido proposta na literatura. Basicamente, os métodos de MCDA são categorizados em dois grupos em função do tamanho do conjunto de alternativas em consideração. Os métodos *multi-attribute decision making* (MADM) são

designados para problemas com um conjunto predefinido de alternativas, enquanto que os métodos *multi-objective decision making* (MODM) são para problemas onde o conjunto de alternativas não são predefinidos (Hwang & Yoon, 1981). Deve-se notar que os termos MADM e MCDA (ou MCDM) as vezes são usados indistintamente na literatura, o que pode levar a alguma confusão, conforme asseveram (Triantaphyllou, 2000; Govindan & Jepsen, 2016). Outra classificação para os métodos MCDA foi proposta por (Belton & Stewart, 2002) que os subdividem em três tipos:

- 1) Modelos de medição de valor;
- 2) Modelos de objetivo, aspiração ou nível de referência; e
- 3) Modelos *Outrankings*.

Em relação à escolha dos métodos de MCDA, os autores (Roy & Bouyssou, 1993; Wang & Triantaphyllou, 2006) encapsulam os métodos para resolução de quatro tipos de problemas clássicos:

- I. O primeiro (P. α) consiste na formulação de problema que resulte na melhor alternativa;
- II. O segundo (P. β) consiste em agrupar as alternativas e classes bem definidas;
- III. O terceiro (P. γ) consiste na problemática que resulta em uma classificação completa das alternativas por ordem de preferência; e
- IV. O quarto (P. δ) consiste em descrever como cada alternativa atende a todos os critérios simultaneamente.

Conforme asseveram os especialistas tem crescido o número de revisões de literatura relativo aos mais populares métodos de MCDA (Govindan & Jepsen, 2016). Estas revisões podem ser classificadas em três categorias:

1. Categorização e descrição de aplicações de métodos. Essas revisões se concentram em um método específico e fornecem uma categorização dos documentos de acordo com as áreas de aplicação, na qual o método foi considerado. Como exemplos tem-se (Behzadian, Otaghsara, Yazdani, & Ignatius, 2012)(TOPSIS) e (Vaidya & Kumar, 2006)(AHP).
2. Desenvolvimento metodológico do método. Aqui, o foco é a revisão de artigos relacionados com as variações metodológicas de um determinado método. Como exemplos tem-se (Wallenius, et al., 2008)(MAUT) e (Figueira J. , Greco, Roy, & Słowiński, 2013)(ELECTRE).
3. Artigos que focam ambos os itens descritos acima. Como exemplo tem-se (Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, & Aghdasi, 2010; Basilio, Pereira, & Costa, 2019a)(PROMETHEE).

De acordo com (Zyoud & Fuchs-Hanusch, 2017), os métodos MCDA mais comuns são: *analytic hierarchy process* (AHP), *multi-attribute utility theory* (MAUT), *simple multi-attribute rating technique* (SMART), *fuzzy set theory* (FST), *data envelopment analysis* (DEA), *case-based reasoning* (CBR), *simple additive weighting* (SAW), *elimination et choice translating reality* (ELECTRE), *technique for order of preference by similarity to ideal solution* (TOPSIS), *preference ranking and organization method for enrichment evaluation* (PROMETHEE), e *goal programming* (GP) (Velasquez & Hester, 2013; Wang, Zhu, & Wang, 2016).

A literatura tem registrado que os métodos MCDA são aplicados na resolução de problemas de decisão em diversas áreas, como apontam os pesquisadores (Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, & Aghdasi, 2010; Govindan & Jepsen, 2016; Zyoud & Fuchs-Hanusch, 2017) e ilustrado na Tabela 1:

Tabela 1 - Listagem das áreas de aplicação do MCDA

Áreas de interesse	Autores
Tecnologias de informação e comunicação	(Cid-López, Hornos, Carrasco, & Herrera-Viedma, 2016)
Inteligência em negócios	(Pape, 2016)
Análise de risco ambiental	(Linkov & Seager, 2011; Jozi, Shoshtory, & Zadeh, 2015)
Avaliação de impacto ambiental e ciências ambientais	(Huang, Keisler, & Linkov, 2011)
Gestão de recursos hídricos	(Shen, Lu, Zhang, Song, & He, 2016; Hosseinzade, Pagsuyoin, Ponnambalam, & Monem, 2017; Scholten, Maurer, & Lienert, 2017)
Gestão de resíduos sólidos	(Maimoun, Madani, & Reinhart, 2016; Angelo, Saraiva, Clímaco, Infante, & Valle, 2017)
Sensoriamento remoto	(Potić, Golić, & Jaksimović, 2016; Aher, Shinde, Guha, & Majumder, 2017)
Gestão de risco de inundação	(Azarnivand & Malekian, 2016; Gigović, Pamučar, Bajić, & Drobnjak, 2017)
Avaliação da tecnologia da saúde	(Schmitz, McCullagh, Adams, Barry, & Walsh, 2016; Angelis & Kanavos, 2017)
Cuidados em Saúde	(Mühlbacher & Kaczynski, 2016)
Transporte	(Karlson, Karlsson, Mörtberg, Olofsson, & Balfors, 2016)
Pesquisa em nanotecnologia	(Linkov, Bates, Canis, Seager, & Keisler, 2011)
Alterações do Clima	(Kim & Chung, 2013)

Energia	(Franco, Bojesen, Hougaard, & Nielsen, 2015; Blanco, Amarilla, Martinez, Llamosas, & Oxilia, 2017)
Política e leis internacionais	(Linkov, Trump, Jin, Mazurczak, & Schreurs, 2014)
Recursos humanos	(Ishizaka & Pereira, 2016)
Gestão financeira	(Shen, Hu, & Tzeng, 2017; Basilio, de Freitas, Kämpffe, & Bordeaux-Rego, 2018)
Desempenho e benchmarking	(Singh, Grover, & Singh, 2017)
Seleção de fornecedores	(Felice, Deldoost, Faizollahi, & Petrillo, 2015)
E-commerce e m-commerce	(Hu, Lu, & Tzeng, 2015)
Agricultura e horticultura	(Anojkumar, Ilangkumaran, & Sasirekha, 2014)
Engenharia química e bioquímica	(Sakthivel, Ilangkumaran, & Gaikwad, 2014)
Avaliação de software	(Ayag, 2016)
Seleção de rede	(Trestian, Ormond, & Muntean, 2015)
Política, social e educação	(Zong & Wang, 2017)
Sistemas de HVAC e gerenciamento de energia de pequena escala	(Shmelev & Van Den Bergh, 2016)
Segurança pública	(Huda, Sarno, & Ahmad, 2015; Nutt, King, & Phillips, 2010; Manning, Smith, & Homel, 2013; Figueiredo & Mota, 2016; Janstrup, Kaplan, Barfod, & Prato, 2017; Adler, Hakkert, Raviv, & Sher, 2014; Amendola, Weisburd, Hamilton, Jones, & Slipka, 2011; Bouranta, Siskos, & Tsotsolas, 2015; Camacho-Collados & Liberatore, 2015)

Fonte: Elaborado pelos autores com base em (Basilio, Pereira, & Costa, 2017).

2.2 Aplicação de MCDA na segurança pública

A pesquisa bibliográfica baseou-se no trabalho de (Basilio, Pereira, & Costa, 2017), a qual buscou conhecer a evolução da aplicação de métodos de MCDA no âmbito da segurança pública, apontando a existência de poucos estudos que se utilizam de técnicas multicritério para apoio à decisão na área de interesse da pesquisa. Após a utilização de palavras-chaves, específicas ao tema, aplicadas às bases de dados, obteve-se 965 registros no *Scopus* e 788 registros na base *ISI Web of Science*. (Basilio, Pereira, & Costa, 2017) relataram que, em cada base, foram aplicados filtros. A análise dos resumos desses registros resultou em um conjunto com 19 artigos. Os artigos foram alocados em cinco categorias, conforme descrito na Tabela 2. Após essa classificação foram também identificados os métodos utilizados e a identificação dos principais autores. Em relação aos métodos identificados cabe asseverar que considerou também técnicas diversas ao MCDA, mas relacionada à pesquisa operacional, que foram incluídas no estudo.

Tabela 2 - Relação das dimensões de segurança e o MCDA

Dimensão	Método(s)	Autor(es)
Segurança Pública	<i>Graph Algorithms; Dominance-Based Rough Set Approach (DRSA); Linear Programming; MUSA system; Data Mining; Multiple-objective programming; Gathering and scattering model analysis.</i>	(Liberatore & Camacho-Collados, 2016); (Figueiredo & Mota, 2016); (Camacho-Collados, Liberatore, & Angulo, 2015); (Bouranta, Siskos, & Tsotsolas, 2015); (Gupta, Chandra, & Gupta, 2014); (Adler, Hakkert, Raviv, & Sher, 2014); (Chen, Lee, Tseng, & Chen, 2013); (Amendola, Weisburd, Hamilton, Jones, & Slipka, 2011); (Lau, Ho, Zhao, & Hon, 2010).
Prevenção de crime	<i>Multi-criteria analysis – MCA; Linear Programming; POSAC analyses /PCA/MDS; MCDM; SMARTS multicriteria method.</i>	(De Paula Silva, et al., 2015); (Camacho-Collados & Liberatore, 2015); (di Bella, Corsi, & Leporatti, 2014); (Manning, Smith, & Homel, 2013); (Gurgel & Mota, 2013); (Nutt, King, & Phillips, 2010)
Segurança Militar	AHP.	(Karvetski, Lambert, & Linkovz, 2011)
Segurança das Estradas	TOPSIS-RSR; AHP.	(Chen, Wang, & Deng, 2015); (Mignelli, Pomarico, & Peila, 2013)
Segurança Marítima	DEMATEL/ANP.	(Özdemir & Güneroglu, 2015)

Fonte: Elaborado pelos autores com base em (Basilio, Pereira, & Costa, 2017).

2.3 A escolha do método MCDA

Na seção 2.1 foi registrada a existência de vários métodos multicritérios. Na Tabela 2 foram evidenciados dentro dos trabalhos registrados os métodos multicritérios aplicados. Todavia, os estudos na área de segurança pública ainda são incipientes em relação a outras áreas, onde os métodos multicritérios são utilizados. O que não autoriza a indicação de um método predominante nesta área, abrindo caminho para o emprego de outras metodologias. A escolha do método é uma tarefa difícil para os pesquisadores. No presente caso o problema estudado trata-se do estabelecimento do *ranking* das áreas integradas de segurança pública. A modelagem do tipo de problema estudado requer um método de *outranking*, como descrito nas taxonomias, tanto de (Belton & Stewart, 2002), como de (Roy & Bouyssou, 1993). Neste caso, podem ser aplicados métodos como: TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, dentre outros para modelagem de problemas relacionados à *outranking*. Sendo assim, a opção dos pesquisadores pelo modelo francês foi orientada em função do sistema de preferência utilizado nos métodos da família ELECTRE.

Definido o tipo de método a ser utilizado, o segundo desafio foi identificar o método dentro da família ELECTRE mais apropriado à modelagem do problema estudado. Desta forma, conforme assevera (Roy & Slowinski, 2013), o problema pode ser modelado com os métodos ELECTRE II, III e IV. Em virtude da complexidade e imprecisão dos valores, o sistema de preferência mais adequado ao presente caso é o Pseudo Critério, o que elimina a aplicação do ELECTRE II, que trabalha com critério verdadeiro. A existência de peso atribuído aos critérios inviabiliza a utilização do ELECTRE IV. Sendo assim, o método que atende aos requisitos apresentados dentro da família ELECTRE é o ELECTRE III.

2.4 Um panorama da família ELECTRE

Os métodos ELECTRE compõem basicamente os MCDA do que os especialistas denominaram de escola francesa ou escola europeia. Conforme registrado por (Govindan & Jepsen, 2016) o primeiro método ELECTRE foi apresentado por (Benayoun, Roy, & Sussman, 1966) como relatório de trabalho da *European consultancy company* – SEMA. Mas, o primeiro artigo não foi publicado antes de 1968, quando (Roy, 1968) descreveu o método em detalhes. Mais tarde, o método foi renomeado como ELECTRE I. Os métodos desta família caracterizam-se pela utilização de uma relação de *outranking*, ou seja, estabelecimento de um *rank* para um conjunto de alternativas (Wang & Triantaphyllou, 2006). Cada método consiste em duas fases: uma de agregação e outra de exploração. A primeira fase consiste em um procedimento baseado nos conceitos de concordância e discordância, os quais são usados para fazer a comparação entre as alternativas. A segunda consiste em um procedimento de exploração da

relação de *outranking*. Este procedimento é necessário para construir e apresentar o tipo de resultado esperado para a problemática estudada, conforme em (Figueira J. , Greco, Roy, & Słowiński, 2013).

O ELECTRE I (Benayoun, Roy, & Sussman, 1966) foi o primeiro da série. Os seguintes foram uma evolução de dois índices: o índice de concordância e o índice de discordância. Os métodos ELECTRE podem ser aplicados em três dos quatro tipos de problemas que um gestor pode ter que decidir: (P.α), (P.β), (P.γ), e (P.δ). Em relação ao tipo de problema os métodos ELECTRE I, ELECTRE Iv (Figueira, Mousseou, & Roy, 2005) e o ELECTRE IS (Roy & Slowinski, 1984) são aplicados na resolução dos problemas do tipo (P.α). O ELECTRE TRI (Yu, 1992; Roy & Bouyssou, 1993) que posteriormente foi renomeado ELECTRE TRI-B (Figueira J. , Greco, Roy, & Slowinski, 2010), TRI-C (Almeira-Dias, Figueira, & Roy, 2010) e TRI-nC (Almeida-Dias, Figueira, & Roy, 2012) são aplicados nos problemas tipo (P.β). O ELECTRE II (Roy & Bertier, 1971), o ELECTRE III (Roy, 1978), e ELECTRE IV (Roy & Hugonnard, 1982) são aplicados aos problemas do tipo (P.γ). O problema do tipo (P.δ) como assevera (Govindan & Jepsen, 2016) pode ser considerado contido nas outras três problemáticas. Em relação ao sistema de preferência somente os métodos ELECTRE I e II aplicam o critério verdadeiro. Em relação à aplicação de pesos para os critérios, somente o método ELECTRE IV não aplica pesos para os critérios.

2.5 Descrição do método ELECTRE III

O método ELECTRE III desenvolvido por (Roy, 1978) e aplicado recentemente por (Basilio, Pereira, & Costa, 2019b), (Lopez, Noriega, & Chavira, 2017), (Leoneti, 2016), e (Hodgett, 2016), divide-se em duas etapas:

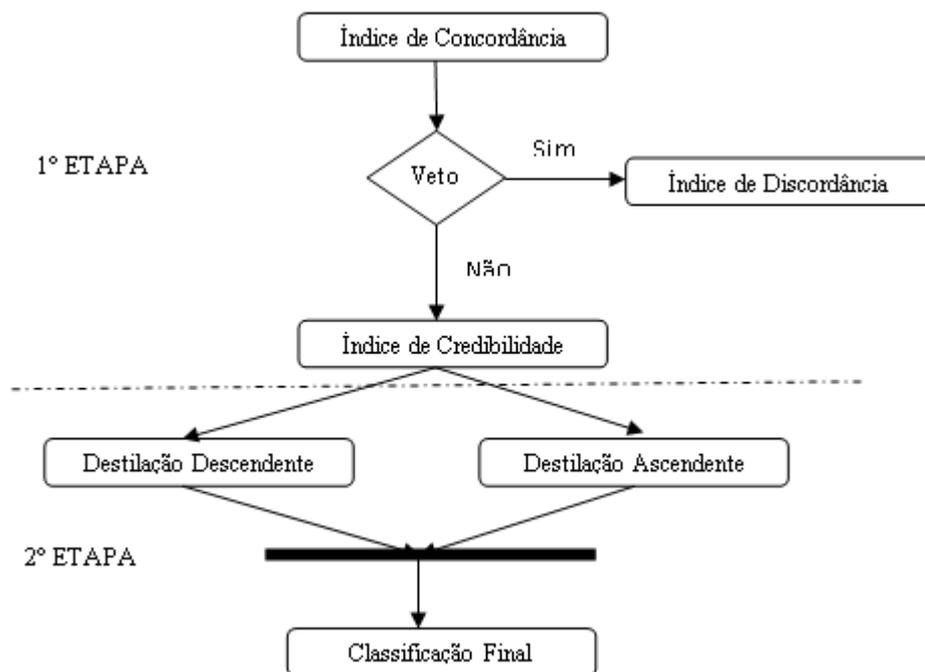
1º Etapa – Construção da relação de *outranking*:

Nesta etapa, são elaboradas as matrizes de concordância para cada critério e a matriz de discordância. Como saída desta etapa temos a matriz de credibilidade.

2º Etapa – Exploração da relação de *outranking*:

Nesta etapa, são construídas as classificações parciais, denominadas de destilação ascendente e descendente. A partir da interpolação destas duas pré-ordens temos como saída a classificação final, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxo processual do método ELECTRE III



Fonte: Adaptado de (Vallée & Zielniewicz, 1994), (Giannoulis & Ishizaka, 2010), (Ashari & Parsaei, 2014), (Infante, Mendonça, & Valle, 2014), e (Basilio, Pereira, & Costa, 2019b).

Em relação à 1ª. Etapa, este estudo utilizará as notações aplicadas por (Bernabeu, 1980), (Roy & Bouyssou, 1993), (Montazer, Saremi, & Ramezani, 2009), (Ashari & Parsaei, 2014):

- $F = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ é o conjunto de critérios.
- J é o conjunto do índice dos critérios.
- $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ é o conjunto de alternativas.
- N é o conjunto do índice das alternativas.
- $W = \{w_1, w_2, \dots, w_j\}$ é o vetor de pesos dos critérios modelados com base na preferência do *decision maker*. Nós assumimos que $\sum_{j \in J} w_j = 1$.
- $g_j(a_i)$ é a avaliação do critério g_j para a alternativa a_i . Para compreensão da relação binária do operador para comparação das alternativas a e b, seguimos:

- P é a relação de preferência estrita, aPb que denota a relação “a é fortemente preferível que b”;
- I é a relação de indiferença, onde aIb denota a relação “a é indiferente para b”;
- Q é relação de preferência fraca, onde aQb denota a relação “a é mais fracamente do que b”, esta relação situa-se entre a preferência e a indiferença;
- R é a relação de incomparabilidade, onde aRb denota que a ação a e b são incomparáveis;

- S é a relação de *outranking*, onde aSb denota que “a é pelo menos tão bom quanto b”; e
- $>$ é a relação de preferência, onde $a > b$ denota que a é preferido fortemente ou fracamente sobre b.

Os limites de veto, preferência e indiferença do método ELECTRE III são estabelecidos como:

(g) q_j é a notação para o limite de indiferença para o critério g_j .

(h) p_j é a notação para o limite de preferência para o critério g_j .

(i) v_j é a notação para o limite de veto para o critério g_j .

Para o cálculo do índice de concordância é necessário conforme (Bernabeu, 1980), estabelecer o grau de credibilidade por critério, o que (Ashari & Parsaei, 2014) denominou de índice de concordância parcial c_j , que é definido pela fórmula geral:

$$c_j(a, b) = \frac{p_j[g_j(a)] - \text{Min}[g_j(b) - g_j(a), p_j[g_j(a)]]}{p_j[g_j(a)] - \text{Min}[g_j(b) - g_j(a), q_j[g_j(a)]]} \quad [1]$$

Em seguida, o índice de concordância $C(a, b)$ será construído a partir do somatório dos índices de concordância parcial por critério, com a atribuição dos pesos de cada critério. Para cada par de ações (a,b), este índice de concordância $C(a, b)$ representa de forma sintética o valor da importância relativa dos critérios. Desta forma, o índice é calculado pela seguinte fórmula:

$$C(a, b) = \sum_{j=1}^m w_j c_j(a, b) \quad [2]$$

Conforme assevera (Bernabeu, 1980), a relação de concordância pode ser enfraquecida pela noção de discordância. De fato, mesmo se todos os critérios exceto um, j_0 , concordar com a assertiva “a é pelo menos tão bom quanto b”, pode ser que a diferença $g_{j_0}(b) - g_{j_0}(a)$ implicando que o *gap* seja tão grande que não se possa ignorá-lo. Sendo assim, é necessário calcular, para cada par de ação (a,b), um índice de discordância: $\{D_j(a, b), \forall j = 1, 2, \dots, m\}$.

Cada valor $D_j(a, b)$ expressa como o critério j refuta a afirmação de que “a é pelo menos tão bom quanto b” globalmente. Assim sendo, a que se definir um limite de veto v_j para cada critério g_j . O valor $v_j[g_j(a)]$ será comparado com a diferença $g_j(b) - g_j(a)$, sendo a partir deste ponto, que se deve refutar toda credibilidade da afirmação “a é pelo menos tão bom quanto b”. Desta forma, o $D_j(a, b)$ é calculado pela Fórmula geral:

$$D_j(a, b) = \text{Min} [1, \text{Max} \left(0, \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j[g_j(a)]}{v_j[g_j(a)] - p_j[g_j(a)]} \right)] \quad [3]$$

Após a construção dos índices de concordância e discordância, inicia-se a elaboração da matriz dos índices de credibilidade ou grau de sobre classificação como denominado por (Infante, Mendonça, & Valle, 2014). Contudo, como assevera (Roy & Bouyssou, 1993) a de se observar os seguintes princípios:

- 1) Na ausência de critérios discordante, o índice de concordância $C(a, b)$ é escolhido como índice de credibilidade;
- 2) Na presença de um critério discordante qualquer, cujo valor é seu veto a sobre classificação aSb, não permitindo o apoio a um argumento significativo de validação, desta forma: $d(a, b) = 0$; e
- 3) Na presença do limite do critério discordante j não vetando à aSb, considera-se que o nível de credibilidade desta afirmação permanece igual à $C(a, b)$ se $D_j(a, b) \leq C(a, b)$ e que o nível de credibilidade é reduzido se $D_j(a, b) > C(a, b)$.

Sendo assim, o índice de credibilidade pode ser calculado da seguinte forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} d(a, b) = C(a, b) \quad \text{se } F(a, b) = \{j \in F, \quad D_j(a, b) \leq C(a, b)\} = \emptyset \\ d(a, b) = C(a, b) \cdot \prod_{j \in F(a, b)} \frac{1 - D_j(a, b)}{1 - C(a, b)} \quad D_j(a, b) = \{j \in F: D_j(a, b) > C(a, b)\} \end{array} \right. \quad [4]$$

A 2ª. Etapa consiste na exploração da relação de *outranking*. Que a partir da matriz dos índices de credibilidade serão construídas duas classificações parciais Z_1 e Z_2 , cuja intercessão produzirá classificação final: $Z = Z_1 \cap Z_2$. Z_1 é denominada destilação descendente, que classifica os pares de ações dos melhores para os piores. Z_2 da mesma forma que Z_1 classifica os pares de ações dos piores para os melhores. Para a construção das pré-ordens serão adotadas as seguintes tarefas:

- 1) Determinação do limite $s(\lambda)$, sendo $\lambda = d(a, b)$, que (Roy & Bouyssou, 1993) denominou de limite de discriminação do índice de credibilidade. Isto permitirá estabelecer os diferentes níveis de significância do grau de credibilidade. O limite é calculado da seguinte forma:

$$s(\lambda) = 0.30 - 0.15\lambda \quad [5]$$

Podemos considerar que todas as classificações tais como $1 - s(\lambda) < d(a, b) \leq 1$ são tão credíveis umas com as outras.

Considerando $D \subset A$ e $0 \leq \lambda \leq 1$. Definir em D a relação de λ -preferência, \succ_D^λ , para $\forall a, b \in D$:

$$a \succ_D^\lambda b \Leftrightarrow [d(a, b) - s(d(a, b) > d(b, a)) > \lambda] \quad [6]$$

$$e [d(a, b) > \lambda]$$

A partir destas premissas podem-se construir os arcos dos fluxos de classificação e nos conduzindo por definição:

- A λ -poder de a em D, com a notação p_D^λ , que corresponde ao numero de ações de D as quais a é λ -preferência;
- A λ -fraco de a em D, com a notação f_D^λ , que corresponde ao número de ações de D que são λ -preferência a a;
- A λ -qualificação de a em D, com a notação q_D^λ , que é a quantidade:

$$q_D^\lambda = p_D^\lambda - f_D^\lambda \quad [7]$$

- 2) A construção de Z_1 , inicia-se com a escolha da melhor ação do conjunto D, que pode ser obtido pela fórmula:

$$\bar{C}_1 = \{a \in D / q_D^\lambda(a) = \bar{q} = \text{Max}_{a \in D} q_D^\lambda(a)\}$$

- 3) A construção de Z_2 , inicia-se com a escolha da pior ação do conjunto D, que pode ser obtido pela fórmula:

$$\underline{C}_1 = \{a \in D / q_D^\lambda(a) = \underline{q} = \text{Min}_{a \in D} q_D^\lambda(a)\}$$

Os processos 2 e 3 são repetidos até todas as ações constantes do fluxo de classificação serem repassadas de D para $D \setminus (\bar{C}_1 \cup \bar{C}_2 \cup \dots \cup \bar{C}_h)$ no caso da destilação descendente e de D para $D \setminus (\underline{C}_1 \cup \underline{C}_2 \cup \dots \cup \underline{C}_h)$ no caso da destilação ascendente.

2.6 Contexto e realidade investigada

A presente pesquisa foi desenvolvida no contexto brasileiro, no Estado do Rio de Janeiro, no qual as ações estratégicas de segurança pública são elaboradas pela Secretaria de Estado de Segurança (SESEG) e executada pelos organismos policiais: civil e militar.

Neste contexto, para fins de esclarecer o cenário no qual a pesquisa está imersa, inicia-se o relato a partir de 25 de junho de 2009, quando o Governo editou dois decretos: o (Decreto-n.41.930, 2009) e o (Decreto-n.41.931, 2009). O primeiro, dividiu o Estado do Rio de Janeiro em Regiões Integradas de Segurança Pública (RISPs). As RISPs, por sua vez, foram concebidas com a intenção de unir taticamente as Polícias Civil e Militar, tal argumento está explicitado no bojo do Art. 2º do (Decreto-n.41.930, 2009), onde se afirma que, a consolidação das RISPs ocorreria no âmbito dos Departamentos de Polícia de Área (DPAs) e dos Comandos de Policiamento de Área (CPAs). As RISPs são subdivididas em Áreas Integradas de Segurança Pública (AISPs), conforme ilustrado na Tabela 3.

As AISPs atuam no campo tático-operacional, e são compostas pela delimitação física correspondente a um Batalhão de Polícia Militar (BPM), o qual de forma integrada pode possuir, no mínimo duas, e no máximo, seis circunscrições de Delegacias Policiais (DP). No Art. 4º, o (Decreto-n.41.930, 2009)subdivide as AISPs em Circunscrições Integradas de Segurança Pública (CISPs). Estruturalmente as CISPs, sempre que possível, possuem área de atuação correspondente a de uma companhia integrada da polícia militar e de uma DP. O (Decreto-n.41.930, 2009) redefiniu cenário da segurança pública, estruturando-o para a criação e implantação do sistema de gerenciamento de metas estabelecido pelo (Decreto-n.41.931, 2009).

Tabela 3 - Divisão do Território do Estado do Rio de Janeiro

	REGIÃO	PMERJ	PCERJ	AISP
1ª RISP	Capital (Zona Sul, Centro e parte da Norte)	1º CPA	1º DPA	1, 2, 3, 4, 5, 6, 13, 16, 17, 19, 22,23.
2ª RISP	Capital (Zona Oeste e parte da Norte)	2º CPA	2º DPA	9, 14, 18, 27, 31, 39.
3ª RISP	Baixada Fluminense	3º CPA	3º DPA	15, 20, 21, 24, 34, 40.
4ª RISP	Niterói e Região dos Lagos	4º CPA	4º DPA	7, 12, 25, 35.
5ª RISP	Sul Fluminense	5º CPA	5º DPA	10, 28, 33, 37.
6ª RISP	Norte Fluminense	6º CPA	6º DPA	8, 29, 32, 36.
7ª RISP	Região Serrana	7º CPA	7º DPA	11, 26, 30, 38.

Fonte: Elaborado em consonância com o anexo único do (Decreto-n.41.930, 2009).

O (Decreto-n.41.931, 2009) definiu as bases para implantação do Sistema Integrado de Metas (SIM). Neste instrumento foram definidos os Indicadores Estratégicos de Criminalidade (IECs) que possuiriam metas a serem alcançadas. No Art. 3º foi criada a Comissão de Acompanhamento e Avaliação do Sistema. Esta comissão é composta pelos atores de primeiro escalão do Governo. Este Decreto instituiu que as metas seriam editadas anualmente por meio de um contrato de gestão a serem alcançadas pelas Polícia Civil e Militar. O objeto que norteou nossa pesquisa foi descrito no Art. 6º, que trata sobre as regras para o monitoramento do cumprimento das metas, critérios para pagamento de premiação, periodicidade e valores a serem pagos em cada modalidade. O (Decreto-n.41.931, 2009) sofreu várias alterações no que se refere à periodicidade e valores das premiações, conforme ilustrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Evolução da premiação do SIM

Tipo de Prêmio	Órgão	Critério	Exercício Financeiro				
			2009	2011	2013	2016	
produtividade	RISP	Primeiro lugar na classificação final	1500	3000	6000	13500	3000
	AISP	Três primeiros colocados	1500	3000	6000	13500	3000
			1000	2000	4000	9000	2000
			750	1500	3000	6750	1500
	RISP e AISP	Atingir todas as metas e semestrais fixadas	500	1000	2000	5395 a	1199 a
						4500	1000
						3000	700
					1500	350	
	SARPM/COIMPL/PCERJ e NUPESP/ISP	Cumprir suas atribuições com antecedência mínima de 24h antes do prazo limite	-	-	2000	4500	1000
Inovação	Unidades especializadas	Premiar as melhores iniciativas e resultados	1500	3000	6000	13500	3000
	PCERJ ou Especiais PMERJ	no controle da criminalidade	1000	2000	4000	9000	2000
			750	1500	3000	6750	1500

Fonte: Elaborado em conformidade com (Decreto-n.41.931, 2009); (Decreto-n.42.243, 2010); (Decreto-n.42.812, 2011); (Decreto-n.43.055, 2011); (Decreto-n.43.056, 2011); (Decreto-n.44.348, 2013) e (Decreto-n.45.566, 2016)

2.7 Diagnóstico da situação problema e oportunidade

A situação problema envolve o alto custo resultante do programa de premiação por produtividade. No 1º semestre de 2015, a 12ª edição do SIM teve um custo 165 milhões de reais. O SIM teve início com periodicidade anual, passando a partir do (Decreto-n.42.243, 2010) a ser semestral, com premiações individuais a cada policial que estivesse lotado no organismo policial contemplado. Segundo informações obtidas no site da SESEG no período de 2009 a 2015 foram realizadas 11 edições do SIM, sendo premiados 107.365 agentes, totalizando um custo 339 milhões de reais. Considerando que de 2009 a 2015 os valores para os primeiros colocados variaram de 3,0 a 13,5 mil reais, isto é um fator que impacta o custo do programa. Mas, na 12ª. Edição do SIM, a premiação de 1º colocado foi concedida a onze AISP's, o que fez com que o custo médio de cada edição passasse de 30,8 milhões para 165 milhões.

A situação descrita apresenta a oportunidade de pesquisa de metodologias que apresentem ao tomador de decisões alternativas para aperfeiçoamento do sistema vigente e que proporcione a redução de custos.

2.8 Descrição do método SIM

Por meio da (Resolução nº 305, 2010), que regulamentou o (Decreto-n.41.931, 2009), foi instituído o Sistema de Metas e Acompanhamento de Resultados (SIM). A Resolução definiu prazos, rotinas e critérios de desempate para efeitos da premiação, ilustrada na Tabela 3. A metodologia do SIM, objetiva acompanhar o cumprimento das metas estabelecidas pelos contratos de gestão. Os dados resultantes do acompanhamento do SIM são utilizados para calcular o Índice de Desempenho de Metas (IDM), que permite estabelecer o ranking das AISP's, para fins de premiação.

O IDM é calculado da seguinte forma:

$$IDM = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{\sum_{i=1}^n \pi_i} \quad [8]$$

Onde,

$\{1, \dots, n\}$ = Conjunto de índices dos fatores alcançados pelas AISP's;

β_i = Valor do i-ésimo fator alcançado pela AISP;

π_i = Valor do peso i-ésimo indicador estratégico.

Para calcular o IDM devem ser realizadas as seguintes etapas:

1. Cálculo do Percentual de Cumprimento de Meta – PCM:

$$PCM = \left[\frac{(meta - real)}{meta} \right] + 100\% \quad [9]$$

2. Cálculo do Fator Alcançado – β

$$\beta = PCM * \pi \quad [10]$$

O resultado do PCM de cada um dos indicadores é multiplicado pelo seu peso, transformando-se no fator alcançado para o referido indicador. O (Decreto-n.41.931, 2009) definiu os indicadores que compõem o SIM e estipulou seus respectivos pesos (π), conforme Tabela 5:

Tabela 5 - Relação de critérios e peso

Critério	Peso (π)
Letalidade Violenta	3
Roubo de Veículos	2
Roubos de Rua	1

Fonte: Construído com base no (Decreto-n.41.931, 2009).

Para as AISPs com metas iguais ou inferiores a 20 por semestre, o cálculo do IDM obedece ao seguinte critério:

$$PCM_{baixa\ casuística} = [(meta - real) * 5\%] \times 100 + 100\% \quad [11]$$

A base de dados utilizada para a comparação foi construída a partir dos dados divulgados no site do Instituto de Segurança Pública (www.isp.rj.gov.br) para o período considerado, onde contém as metas estipuladas para cada critério de cada AISP e os valores reais obtidos, conforme Tabela 6:

Tabela 6 - Valores aplicados ao SIM no 1º semestre de 2015

LETALIDADE VIOLENTA				ROUBO DE VEÍCULOS			ROUBOS DE RUA			IDM
PESO										
3		2					1			
AISP	META	REAL	%	META	REAL	%	META	REAL	%	%
2	6	8	90,0	100	104	96	902	1113	77	89,77
3	46	64	61	775	860	89	2650	2854	92	75,50
4	14	52	-90,0	278	265	105	1767	1766	100	6,57
5	22	30	64	99	85	114	2072	2267	91	84,96
6	10	10	100,0	167	118	120	974	930	105	107,42
7	222	163	120	2168	1515	120	4832	3618	120	120,00
8	150	101	120	174	100	120	637	435	120	120,00
9	129	115	111	1419	1739	77	2970	3878	69	92,81
10	20	23	85,0	9	7	110,0	30	18	120	99,17
11	22	17	120	13	6	120,0	67	32	120	120,00
12	86	113	69	791	749	105	2236	2209	101	86,27
14	116	109	106	1039	1049	99	2469	2530	98	102,28
15	283	193	120	2017	1298	120	3895	2701	120	120,00
16	48	55	85	471	602	72	1343	1558	84	80,77
17	20	20	100,0	78	69	112	289	301	96	103,15
18	47	60	72	216	246	86	966	1009	96	80,80
19	7	2	120,0	19	6	120,0	585	276	120	120,00
20	340	283	117	2151	1756	118	4514	4162	108	115,80
21	126	88	120	1056	826	120	1947	1547	120	120,00
22	44	24	120	180	154	114	846	723	115	117,24
23	13	9	120,0	58	33	120	789	561	120	120,00
24	161	163	99	286	374	69	583	776	67	83,61
25	158	130	118	187	129	120	521	469	110	117,19
26	12	10	110,0	8	11	85,0	29	43	52	91,95
27	102	85	117	225	171	120	382	601	43	105,45
28	57	31	120	33	17	120	178	54	120	120,00
29	11	6	120,0	5	2	115,0	3	3	100,0	115,00
30	15	7	120,0	18	6	120,0	25	12	120	120,00
31	27	26	104	312	256	118	859	824	104	108,51
32	114	92	119	363	234	120	816	636	120	119,65
33	69	62	110	56	47	116	156	115	120	113,76
34	64	45	120	166	121	120	329	280	115	119,15
35	53	42	120	251	176	120	557	406	120	120,00
36	17	10	120,0	11	2	120,0	10	1	120,0	120,00
37	19	16	115,0	5	5	100,0	25	18	120	110,83
38	14	9	120,0	6	3	115,0	11	7	120,0	118,33
39	136	122	110	472	397	116	1015	904	111	112,27
40	31	29	106	217	396	18	376	940	-50	50,73
41	128	129	99	1343	1690	74,2	2628	3417	70	85,99

Fonte: Adaptado do site www.isp.rj.gov.br

3 Metodologia

O presente estudo em relação aos fins, classifica-se como uma pesquisa metodológica e aplicada. Quanto aos meios, classifica-se como sendo bibliográfica, documental, e de laboratório. Para efeitos de cálculos do método ELECTRE III foi utilizado software J-Electre.

O universo da pesquisa foram as trinta e nove AISP's localizadas no Estado do Rio de Janeiro. A amostra foi composta pelos resultados obtidos e considerados na avaliação da premiação por metas no primeiro semestre de 2015, conforme ilustrado na Tabela 3.

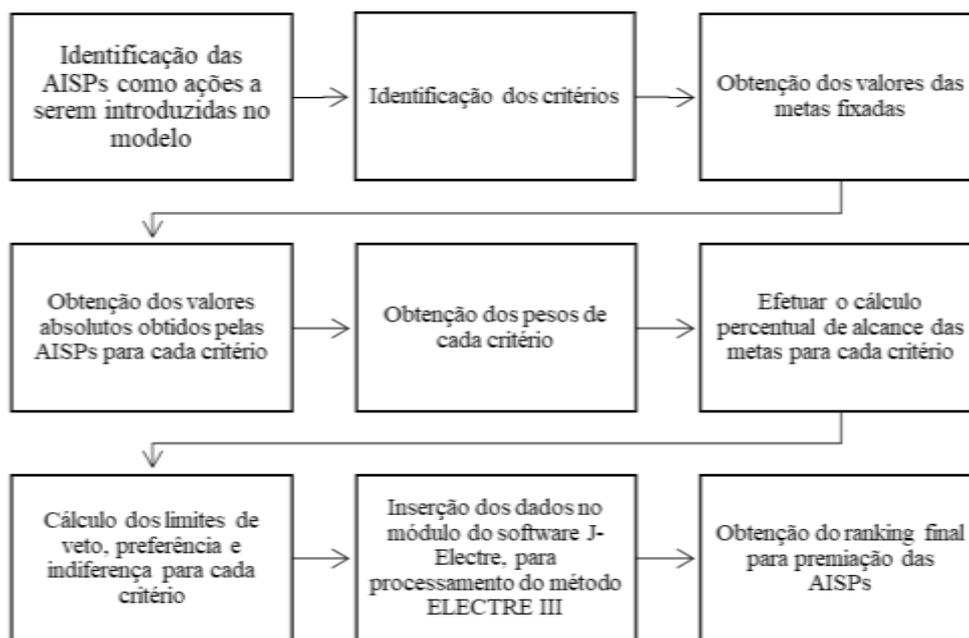
Os dados foram coletados em janeiro de 2017, durante a fase da pesquisa documental, com a colaboração da Polícia Militar do Rio de Janeiro mediante autorização previa, e estão ilustrados na Tabela 6.

Na fase de testes em laboratórios, realizada nos meses de fevereiro e março de 2017, os dados foram tratados e processados por meio do software J-Electre-v.1 desenvolvido por (Pereira, Costa, & Nepomuceno, 2016).

A metodologia obedeceu às seguintes etapas, conforme ilustrado na Figura 2:

1. Identificação das AISP's como ações a serem introduzidas no modelo;
2. Identificação dos critérios;
3. Obtenção dos valores das metas fixadas;
4. Obtenção dos valores absolutos obtidos pelas AISP's para cada critério;
5. Obtenção dos pesos de cada critério;
6. Efetuar o cálculo percentual de alcance das metas para cada critério;
7. Cálculo dos limites de veto, preferência e indiferença para cada critério;
8. Inserção dos dados no módulo do software J-Electre, para processamento do método ELECTRE III;
9. Obtenção do ranking final para premiação das AISP's.

Figura 2 - Representação das etapas da metodologia aplicada



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1 Cálculo dos limites

Segundo (Vallée & Zielniewicz, 1994) o cálculo dos limites pode ser feito em quatro contextos distintos, conforme ilustrado na Figura 3. Por um lado, as preferências podem aumentar ou diminuir em relação ao desempenho das ações. Por outro lado, os limites podem ser diretos ou inversos. No primeiro caso: o cálculo é efetuado em função do desempenho da ação de menor preferência. No segundo: o cálculo é feito a partir do desempenho da melhor ação.

Figura 3 - Casos possíveis para cálculo de limites

	Os limites são diretos	Os limites são inversos
Preferência irá aumentar com o desempenho	Caso 1	Caso 3
Preferência irá diminuir com o desempenho	Caso 2	Caso 4

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de (Vallée & Zielniewicz, 1994; Basilio, Pereira, & Costa, 2019b).

Os limites de veto, preferência e indiferença são calculados pelas fórmulas ilustradas nas equações 12-14, conforme assevera (Vallée & Zielniewicz, 1994; Basilio, Pereira, & Costa, 2019b):

$$v_j = \alpha * Max[g_j(a)] + \beta \quad [12]$$

$$p_j = \alpha * Max[g_j(a)] + \beta \quad [13]$$

$$q_j = \alpha * Max[g_j(a)] + \beta \quad [14]$$

Os valores dos coeficientes α e β são definidos pelo tomador de decisão para cada limite. Contudo, (Vallée & Zielniewicz, 1994) salienta que existem certos parâmetros a serem obedecidos: $\alpha \geq -1$ nas situações que se enquadram no CASO 1; $\alpha < 1$ nas situações que se enquadram nos CASOS 2 e 3 e $\alpha > -1$ para o CASO 4. Os valores atribuídos a α e β não devem gerar um limite com valor negativo.

Desta forma, para efeito de aplicação do presente estudo de caso, os pesquisadores assumem que os valores de α serão 0,03 para q; 0,08 para p e 0,2 para v. Os valores de β serão obtidos a partir da média do somatório das $g_j(a)$ de cada critério e o $g_j(a)$ será o valor máximo de cada critério.

3.2 Pesos dos critérios

Os pesos utilizados para cada critério foram estabelecidos pelo DM e são utilizados no sistema vigente na PMERJ, conforme ilustrado na Tabela 5.

4 Aplicação e análise dos resultados

Nesta seção, foram aplicadas as nove etapas da metodologia, tendo como caso a avaliação das AISPs no alcance das metas estabelecidas para redução dos indicadores de criminalidade no Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

Etapas 1: Nesta etapa, a partir das informações contidas na Tabela 6 foram realizadas as correlações com as ações a_i a serem introduzidas no modelo, conforme ilustrada na Tabela 7:

Tabela 7 - Relação de correspondência das AISP com as ações do modelo

AISP	a_i	AISP	a_i	AISP	a_i
2	1	16	14	29	27
3	2	17	15	30	28
4	3	18	16	31	29
5	4	19	17	32	30
6	5	20	18	33	31
7	6	21	19	34	32
8	7	22	20	35	33
9	8	23	21	36	34
10	9	24	22	37	35
11	10	25	23	38	36
12	11	26	24	39	37
14	12	27	25	40	38
15	13	28	26	41	39

Fonte: Elaborada pelos autores.

Etapa 2: Os valores de referências das metas utilizados no modelo, foram os constantes na segunda, quinta e oitava colunas da Tabela 6.

Etapa 3: Os valores absolutos, apurados no período considerado para cada AISP, utilizados no modelo foram os constantes na terceira, sexta e nona colunas da Tabela 6.

Etapa 4: No presente modelo foram utilizados três critérios, que foram definidos pelos DMs do governo local, que são: g_1 = “Letalidade Violenta”; g_2 = “Roubo de Veículos”; e g_3 = “Roubos de Rua”, conforme ilustrado na Tabela 5.

Etapa 5: O peso referente aos critérios g_j foram os definidos pelos DMs do governo local, e ilustrados na Tabela 5, da seguinte forma: $w_1 = 3$; $w_2 = 2$; and $w_3 = 1$.

Etapa 6: Com a aplicação das fórmulas [8] a [11] obteve-se os valores utilizados no modelo, que estão ilustrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores para formação da matriz de preferência

l	a_i	g_1	g_2	g_3
1	a_1	67	96	77
2	a_2	61	89	92
3	a_3	-171	105	100
4	a_4	64	114	91
5	a_5	100	129	105
6	a_6	127	130	125
7	a_7	133	143	132
8	a_8	111	77	69
9	a_9	85	110	140
10	a_{10}	123	154	152
11	a_{11}	69	105	101
12	a_{12}	106	99	98
13	a_{13}	132	135	131
14	a_{14}	85	72	84
15	a_{15}	100	112	96
16	a_{16}	72	86	96
17	a_{17}	171	168	153
18	a_{18}	117	118	108
19	a_{19}	130	122	121
20	a_{20}	145	114	115
21	a_{21}	131	143	129
22	a_{22}	99	69	67
23	a_{23}	118	131	110
24	a_{24}	110	85	52
25	a_{25}	117	124	43
26	a_{26}	146	148	170

27	a_{27}	145	115	100
28	a_{28}	153	167	152
29	a_{29}	104	118	104
30	a_{30}	119	136	122
31	a_{31}	110	116	126
32	a_{32}	130	127	115
33	a_{33}	121	130	127
34	a_{34}	141	182	190
35	a_{35}	116	100	128
36	a_{36}	136	115	136
37	a_{37}	110	116	111
38	a_{38}	106	18	-50
39	a_{39}	99	74,2	70

Fonte: Elaborada pelos autores.

Etapa 7: Aplicada as fórmulas, calculou-se os limites de indiferença (q); preferência (p); e veto (v) relativo a cada critério (g_j) utilizados no modelo, conforme ilustrado na Tabela 9:

Tabela 9 - Cálculo dos limites dos critérios

Limites	g_1	g_2	g_3
q	36,20	39,44	38,71
p	43,31	46,97	46,68
v	60,87	65,57	66,33

Fonte: Elaborada pelos autores.

Etapa 8: Após executadas as etapas de 1 a 7, os dados do modelo foram introduzidos no Software J-Electre, para execução dos cálculos das fórmulas [1] a [7], referente ao método ELECTRE III, ilustrado da Figura 1. Desta forma, foram obtidos os seguintes resultados:

O primeiro resultado do método ELECTRE III, foi à obtenção do índice de concordância, para tanto foram aplicadas as fórmulas [1] e [2], e os resultados estão ilustrados na Tabela 9.

Tabela 10 - Matriz de concordância

	a1	a2	a3	a4	...	a36	a37	a38	a39
a1	0.0	1.0	1.0	1.0	...	0.0	0.5218	0.8031	1.0
a2	1.0	0.0	1.0	1.0	...	0.056	0.5	0.5	0.8734
a3	0.5	0.5	0.0	0.5	...	0.2539	0.5	0.5	0.5
a4	1.0	1.0	1.0	0.0	...	0.3685	0.5	0.5921	1.0
...
a36	1.0	1.0	1.0	1.0	...	0.0	1.0	1.0	1.0
a37	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	0.0	1.0	1.0
a38	0.5	0.5	0.5	0.5	...	0.5	0.5	0.0	0.5
a39	1.0	1.0	1.0	0.9841	...	0.4437	0.8476	1.0	0.0

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir dos resultados obtidos com o J-Electre.

No presente modelo utilizou-se o limite de veto para cada critério. Sendo assim, foi aplicada a fórmula [3] e obtido para cada critério o índice de discordância, conforme ilustrado nas Tabelas Tabela 11, Tabela 12, e Tabela 13.

Tabela 11 - Matriz de discordância (g1)

	a1	a2	a3	a4	...	a36	a37	a38	a39
a1	0.0	0.0	0.0	0.0	...	1.0	0.0	0.0	0.0
a2	0.0	0.0	0.0	0.0	...	1.0	0.324	0.0962	0.0
a3	1.0	1.0	0.0	1.0	...	1.0	1.0	1.0	1.0
a4	0.0	0.0	0.0	0.0	...	1.0	0.1532	0.0	0.0
...
a36	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a37	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a38	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a39	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir dos resultados obtidos com o J-Electre.

Tabela 12 - Matriz de discordância (g2)

	a1	a2	a3	a4	...	a36	a37	a38	a39
a1	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.378	0.0	0.0	0.0
a2	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.7543	0.0	0.0	0.0
a3	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a4	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
...
a36	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a37	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a38	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	1.0	0.0	0.4962
a39	0.0	0.0	0.0	0.0	...	1.0	0.0	0.0	0.0

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir dos resultados obtidos com o J-Electre.

Tabela 13 - Matriz de discordância (g3)

	a1	a2	a3	a4	...	a36	a37	a38	a39
a1	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.627	0.0	0.0	0.0
a2	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a3	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a4	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
...
a36	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a37	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a38	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	1.0	0.0	1.0
a39	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.9832	0.0	0.0	0.0

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir dos resultados obtidos com o J-Electre.

Após a construção dos índices de concordância e discordância, aplicou-se a fórmula [4] e construiu-se o índice de credibilidade, conforme ilustrado na Tabela 14. A partir deste ponto, inicia-se o processo de exploração da relação de *outranking*, o que consiste na segunda etapa do método ELECTRE III.

Tabela 14 - Matriz de credibilidade

	a1	a2	a3	a4	...	a36	a37	a38	a39
a1	0.0	1.0	1.0	1.0	...	0.0	0.5218	0.8031	1.0
a2	1.0	0.0	1.0	1.0	...	0.0	0.5	0.5	0.8734
a3	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a4	1.0	1.0	1.0	0.0	...	0.0	0.5	0.5921	1.0
...
a36	1.0	1.0	1.0	1.0	...	0.0	1.0	1.0	1.0
a37	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	0.0	1.0	1.0
a38	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0
a39	1.0	1.0	1.0	0.9841	...	0.0	0.8476	1.0	0.0

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir dos resultados obtidos com o J-Electre.

Etapa 9: Nesta etapa foram aplicadas as fórmulas [5] a [7], que a partir da matriz dos índices de credibilidade foram construídas duas classificações parciais Z_1 e Z_2 . Após a intercessão obteve-se a classificação final $Z = Z_1 \cap Z_2$. Sendo a primeira colocação do ranking $Z=1$. A Tabela 15 ilustra a classificação final das AISP's pelo método ELECTRE III, bem como apresenta a classificação final pela aplicação do método SIM.

Tabela 15 - Ranking final das AISP com o método ELECTRE III

a_i	Z_1	Z_2	Z	Ranking ELECTRE III	Ranking SIM
a1	20.0	21.0	20.5	27°	20°
a2	22.0	21.0	21.5	28°	27°
a3	24.0	22.0	23.0	30°	29°
a4	18.0	19.0	18.5	26°	23°
a5	9.0	12.0	10.5	16°	13°
a6	3.0	8.0	5.5	8°	1°
a7	2.0	7.0	4.5	6°	1°
a8	13.0	17.0	15.0	21°	18°
a9	12.0	11.0	11.5	18°	17°
a10	2.0	6.0	4.0	5°	1°
a11	15.0	19.0	17.0	24°	21°
a12	11.0	14.0	12.5	20°	16°
a13	3.0	8.0	5.5	8°	1°
a14	17.0	19.0	18.0	25°	26°
a15	9.0	15.0	12.0	19°	15°
a16	14.0	19.0	16.5	23°	25°
a17	1.0	2.0	1.5	2°	1°
a18	5.0	10.0	7.5	12°	7°
a19	5.0	8.0	6.5	10°	1°
a20	8.0	6.0	7.0	11°	5°
a21	3.0	7.0	5.0	7°	1°
a22	21.0	20.0	20.5	27°	24°
a23	4.0	9.0	6.5	10°	6°
a24	19.0	18.0	18.5	26°	19°
a25	16.0	16.0	16.0	22°	14°
a26	1.0	3.0	2.0	3°	1°
a27	6.0	5.0	5.5	8°	8°
a28	1.0	4.0	2.5	4°	1°
a29	9.0	13.0	11.0	17°	12°
a30	4.0	9.0	6.5	10°	2°
a31	7.0	10.0	8.5	13°	9°
a32	4.0	8.0	6.0	9°	3°
a33	3.0	9.0	6.0	9°	1°
a34	1.0	1.0	1.0	1°	1°
a35	10.0	10.0	10.0	15°	11°
a36	2.0	7.0	4.5	6°	4°
a37	8.0	11.0	9.5	14°	10°
a38	23.0	22.0	22.5	29°	28°
a39	18.0	19.0	18.5	26°	22°

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir dos resultados obtidos com o J-Electre.

Analisando o resultado ilustrado na Tabela 15 observa-se que no modelo proposto ELECTRE III houve empates em quatro posições distintas: sexta posição com as ações $\{a_7 \text{ e } a_{36}\}$; oitava posição com as ações $\{a_6, a_{13}, a_{27}\}$; nona posição com as ações $\{a_{32} \text{ e } a_{33}\}$; e por fim, a décima posição com as ações $\{a_{19}, a_{23}, a_{30}\}$. Em relação às três primeiras posições, pode-se constatar que não houve empate, sendo bem definidas as ações premiadas: primeira colocação a ação $\{a_{34}\}$, que corresponde a AISP 36; em segundo lugar a ação $\{a_{17}\}$, que é a AISP 19; e em terceiro lugar a ação $\{a_{26}\}$, que corresponde a AISP 28. Constatou-se também, que em relação ao resultado apresentado pelo modelo vigente, das ações empatadas em primeiro lugar $\{a_6, a_7, a_{10}, a_{13}, a_{17}, a_{19}, a_{21}, a_{26}, a_{28}, a_{33}, a_{34}\}$ foram distribuídas no modelo ELECTRE III, entre as dez primeiras posições, tendo ficado empatadas na oitava posição, as ações $\{a_6, a_{13}\}$. Observou-se ainda, que no modelo proposto dentre as dez primeiras posições, apareceram empatadas no sexto lugar a ação $\{a_{36}\}$ que no modelo vigente ocuparia a quarta posição; em oitavo lugar ação $\{a_{27}\}$, que no modelo SIM ocuparia a oitava posição; em nono lugar $\{a_{32}\}$, que no modelo vigente ocupava a terceira posição; e por fim, em décimo lugar as ações $\{a_{23}, a_{30}\}$, que no modelo atual, ocupavam a sexta e segunda posição respectivamente. Pode-se perceber que entre as dez primeiras posições teriam cinco ações que não estavam empatadas em primeiro lugar no modelo atual. Outro olhar lançado para as ações que ocupavam as últimas posições pode-se evidenciar que, apesar de terem suas posições alteradas, as ações $\{a_3, a_{38}, a_2\}$ mantiveram no modelo proposto à última, a penúltima e a antepenúltima posição respectivamente. De forma geral, comparando-se os resultados apresentados pelas duas metodologias, ficou evidenciado que com a aplicação de um método MCDA, no caso em questão, obteve-se um novo ranking, com alterações de posições na ordem de 94,87. Em relação ao efeito compensatório, geralmente os especialistas tratam da influência dos pesos na avaliação dos critérios. Analisando a questão por este ângulo pode-se incorrer no erro de afirmar que o método MCDA também produz efeito compensatório sobre os critérios. Contudo, a metodologia vigente, descrita na seção 2.8, resume-se no cálculo da média entre os critérios. Desta forma, uma AISP que obtenha um valor absoluto elevado no critério de maior peso, poderá compensar os valores inferiores nos demais critérios, e com isso influenciar a classificação desta AISP em relação aos demais. A metodologia proposta com a utilização do método ELECTRE III, diferentemente do método vigente, baseia-se na comparação par-a-par de alternativas perfazendo todos os critérios. A cada comparação realizada é atribuído um novo valor a alternativa. Por exemplo, se a alternativa “a” no critério g for maior que a alternativa “b” no mesmo critério, então, este par recebe o valor ‘1’, caso contrário valor “0”. Desta forma, os valores introduzidos no modelo para gerarem as matrizes de concordância e discordância assumem valores binários. Assim sendo, os valores absolutos originais de cada alternativa perdem a influência sob os demais critérios. Em função do exposto os autores afirmam que no caso estudo a eliminação do efeito compensatório foi alcançada e seus efeitos podem ser observados pelo nível de variação das posições alcançadas com o método ELECTRE III.

5 Considerações finais

A proposta inicial desta pesquisa consiste na elaboração de um método alternativo para comparar com a metodologia vigente para análise do desempenho das Áreas Integradas de Segurança Pública no Estado do Rio de Janeiro, no alcance das metas de redução dos indicadores estratégicos de criminalidade.

O modelo vigente consiste em um método compensatório. Na prática, isto significa que o sucesso em um dos indicadores de criminalidade com o maior peso, pode influenciar o resultado final da classificação, mesmo que nos outros indicadores os valores alcançados sejam abaixo da média da amostra. Neste sentido, a pesquisa buscou desenvolver um modelo que eliminasse o efeito compensatório entre os critérios do modelo vigente. Em busca de uma resposta adequada, pesquisou-se na literatura a aplicação de caso semelhante no âmbito da segurança pública, tendo sido encontrado dezenove trabalhos relacionados à multicritério. Contudo, sem relação direta com o caso estudado. Feita uma revisão do estado da arte da aplicação dos métodos multicritério, utilizou-se a classificação de (Belton & Stewart, 2002) conjugada com (Roy & Bouyssou, 1993) e identificou o método ELECTRE III, como um método de MCDA a ser aplicado em virtude das características do problema.

A aplicação do método ELECTRE III em comparação aos resultados do método vigente, evidenciou uma alteração em 94,87% das posições do ranking apresentado pelo método SIM. Com o método SIM a amostra estudada apresentava um empate de onze AISPs no primeiro lugar. O resultado do método proposto apresentou uma distinção, entre os três primeiros colocados, e não evidenciou empates nas cinco primeiras posições do ranking. O que se pode inferir que o modelo proposto, com a distinção das posições no ranking, reduzindo a incidência de empates nas primeiras colocações, teria uma consequência direta no custo do programa de premiação. Conforme registrado na seção 2.7, o custo do programa para edição estudada foi de R\$ 165 milhões para premiação de onze AISPs. Com o modelo proposto somente deveriam ser premiadas três AISPs. Desta forma, haveria redução no custo do programa.

Em pesquisas futuras, há de se estudar novas estratégias para o alcance da redução do conjunto de indicadores avaliados. Conhecer como os gestores da área de segurança pública, otimizam seus recursos disponíveis, para o alcance das metas propostas.

Referências

- Adler, N., Hakkert, A. S., Raviv, T., & Sher, M. (05 de jun de 2014). The Traffic Police Location and Schedule Assignment Problem. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 21, pp. 315-333. <https://dx.doi.org/10.1002/mcda.1522>.
- Aher, S., Shinde, S., Guha, S., & Majumder, M. (2017). Identification of drought in Dhalai river watershed using MCDM and ANN models. *Journal of Earth System Science*, 126(2).

- Almeida-Dias, J., Figueira, J., & Roy, B. (2012). A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: The ELECTRE TRI-nC method. *European Journal of Operational Research*, 217(3), pp. 567-579.
- Almeira-Dias, J., Figueira, J., & Roy, B. (2010). ELECTRE TRI-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions. *European Journal of Operational Research*, 204(3), pp. 565-580.
- Amendola, K. L., Weisburd, D., Hamilton, E. E., Jones, G., & Slipka, M. (2011). An experimental study of compressed work schedules in policing: Advantages and disadvantages of various shift lengths. *Journal of Experimental Criminology*, 7(4), pp. 407-442. <https://dx.doi.org/10.1007/s11292-011-9135-7>.
- Angelis, A., & Kanavos, P. (2017). Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) for evaluating new medicines in Health Technology Assessment and beyond: The Advance Value Framework. *Social Science & Medicine*, 188, 137-156.
- Angelo, A. C., Saraiva, A. B., Clímaco, J. C., Infante, C. E., & Valle, R. (2017). Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro. *Journal of Cleaner Production*, 143, 744-756. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.049>.
- Anojkumar, L., Ilangkumaran, M., & Sasirekha, V. (2014). Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry. *Expert Systems with Applications*, 41(6), 2964-2980. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.028>.
- Ashari, H. E., & Parsaei, M. (2014). Application of the multi-criteria decision method ELECTRE III for the Weapon selection. *Decision Science Letters*, 3, pp. 511-522.
- Ayag, Z. (2016). A fuzzy ANP approach to evaluate computer simulation packages. *International Journal of Business and Systems Research*, 10(2-4), 332-345.
- Azarnivand, A., & Malekian, A. (2016). Analysis of flood risk management strategies based on a group decision making process via interval-valued intuitionistic fuzzy numbers. *Water Resources Management*, 30(6), 1903-1921.
- Bahadori, M. k., Abolghasemi, K., & Teymourzadeh, E. (2017). Performance evaluation and ranking of selective wards in a military hospital using DEA and promethee method. *Journal of Military Medicine*, 18(4), pp. 325-334.
- Basilio, M. P., de Freitas, J. G., Kämpffe, M. G., & Bordeaux-Rego, R. (2018). Investment portfolio formation via multicriteria decision aid: a brazilian stock market study. *Journal of Modelling in Management*, 13(2), pp. 394-417. <https://doi.org/10.1108/JM2-02-2017-0021>.
- Basilio, M. P., Pereira, V., & Costa, H. G. (2017). Review of the literature on multicriteria methods applied in the field of public security. *Universal Journal of Management*, 5(12), pp. 549-562. <https://doi.org/10.13189/ujm.2017.051202>.
- Basilio, M. P., Pereira, V., & Costa, H. G. (2019a). Método de apoio decisão multicritério: um estudo empírico aplicado na classificação das áreas integradas de segurança pública no estado do Rio de Janeiro. *ENGEVISTA*, 21(1) pp. 47-62. <https://doi.org/10.22409/engevista.v21i1.10129>.
- Basilio, M. P., Pereira, V., & Costa, H. G. (2019b). Classifying the integrated public safety areas (IPSAs) : a multi-criteria based approach. *Journal of Modelling in Management*, 14(1) pp. 106-133. <https://doi.org/10.1108/JM2-01-2018-0001>.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200, 198-215.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051-13065.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Benayoun, R., Roy, B., & Sussman, N. (1966). *Manual de Reference du Programme Electre*. 25. Paris, France: Note De Synthese et Formaton.
- Bernabeu, Y. A. (1980). Manuel D'utilisation du programme ELECTRE III. *Cahier du LAMSADE*, 35, pp. 1-41.

- Blanco, G., Amarilla, R., Martinez, A., Llamosas, C., & Oxilia, V. (2017). Energy transitions and emerging economies: A multi-criteria analysis of policy options for hydropower surplus utilization in Paraguay. *Energy Policy*, 108, 312-321.
- Bouranta, N., Siskos, Y., & Tsotsolas, N. (2015). Measuring police officer and citizen satisfaction: comparative analysis. *Policing*, 38(4), pp. 705-721. <https://dx.doi.org/10.1108/PIJPSM-01-2015-0008>.
- Camacho-Collados, M., & Liberatore, F. (2015). A Decision Support System for predictive police patrolling. *Decision Support Systems*, 75, pp. 25-37. <https://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2015.04.012>.
- Camacho-Collados, M., Liberatore, F., & Angulo, J. M. (2015). A multi-criteria Police Districting Problem for the efficient and effective design of patrol sector. *European Journal of Operational Research*, 246(2), pp. 674-684. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.023>.
- Chen, C. W., Lee, C. C., Tseng, C. P., & Chen, C. H. (2013). Application of GIS for the determination of hazard hotspots after direct transportation linkages between Taiwan and China. *Natural Hazards*, 66(2), pp. 191-228. <https://dx.doi.org/10.1007/s1106>.
- Chen, F., Wang, J., & Deng, Y. (2015). Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS-RSR. *Safety Science*, 79, pp. 39-54. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.05.006>.
- Cid-López, A., Hornos, M. J., Carrasco, R. A., & Herrera-Viedma, E. (2016). Applying a linguistic multi-criteria decision-making model to the analysis of ICT suppliers' offers. *Expert Systems with Applications*, 57, 127-138.
- De Paula Silva, C. J., Moura, A. C., Paiva, P. C., Ferreira, R. C., Silvestrini, R. A., Vargas, A. M., . . . Ferreira E Ferreira, E. (2015). Maxillofacial injuries as markers of interpersonal violence in belo Horizonte-Brazil: Analysis of the socio-spatial vulnerability of the location of victim's residences. *PLoS ONE*, 10(8), p. Art. n. e0134577. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0134>.
- Decreto-n.41.930. (25 de junho de 2009). DOERJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Casa Civil.
- Decreto-n.41.931. (25 de junho de 2009). DOERJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Casa Civil.
- Decreto-n.42.243. (15 de janeiro de 2010). DOERJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Casa Civil.
- Decreto-n.42.812. (19 de janeiro de 2011). DOERJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Casa Civil.
- Decreto-n.43.055. (01 de julho de 2011). DOERJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Casa Civil.
- Decreto-n.43.056. (01 de julho de 2011). DOERJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Casa Civil.
- Decreto-n.44.348. (23 de agosto de 2013). DOERJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Casa Civil.
- Decreto-n.45.566. (28 de janeiro de 2016). DOERJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Casa Civil.
- di Bella, E., Corsi, M., & Leporatti, L. (2014). A Multi-indicator Approach for Smart Security Policy Making. *Social Indicators Research*, 122(3), pp. 653-675. <https://dx.doi.org/10.1007/s11205-014-0714-7>.
- Diaby, V., Campbell, K., & Goeree, R. (2013). Multi-criteria decision analysis (MCDA) in health care: A bibliometric analysis. *Operations Research for Health Care*, 2(1-2), 20-24.
- Durbach, I. N., & Stewart, T. J. (2012). Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 223(1), 1-14.
- Felice, F., Deldoost, M. H., Faizollahi, M., & Petrillo, A. (2015). Performance Measurement Model for the Supplier Selection Based on AHP. *International Journal of Engineering Business Management*, 7, 1-13.
- Figueira, J., Greco, S., Roy, B., & Slowinski, R. (2010). ELECTRE methods: Main features and recent developments. Em P. M. PARDALOS, D. HEARN, & C. ZOPOUNIDIS, *Handbook of multicriteria analysis: applied optimization* (pp. 51-89). Berlin: Springer.
- Figueira, J., Greco, S., Roy, B., & Słowiński, R. (2013). An Overview of ELECTRE Methods and their Recent Extensions. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 20(1-2), 61-85.
- Figueira, J., Mousseou, V., & Roy, B. (2005). ELECTRE methods. Em J. FIGUEIRA, S. GRECO, & M. EHRGOTT, *Multiple criteria decision analysis: State of the art Survey* (pp. 133-153). New York: Springer.
- Figueiredo, C. J., & Mota, C. M. (2016). A classification model to evaluate the security level in a city based on GIS-MCDA. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016(Art. nº 3534824), p. <https://dx.doi.org/10.1155/2016/3534824>.

- Franco, C., Bojesen, M., Hougaard, J. L., & Nielsen, K. (2015). A fuzzy approach to a multiple criteria and Geographical Information System for decision support on suitable locations for biogas plants. *Applied Energy*, *140*, 304-315.
- Giannoulis, C., & Ishizaka, A. (2010). A Web-based Decision Support System with ELECTRE III for a Personalised Ranking of British Universities. *Decision Support Systems*, *48*(3), pp. 488–497.
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Drobňak, S. (2017). Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. *Water*, *9*(6), 360.
- Govindan, K., & Jepsen, M. B. (2016). ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, *250*, pp. 1-29.
- Gupta, M., Chandra, B., & Gupta, M. P. (2014). A framework of intelligent decision support system for Indian police. *Journal of Enterprise Information Management*, *27*(5), pp. 512-540. <https://dx.doi.org/10.1108/JEIM-10-2012-0073>.
- Gurgel, A. M., & Mota, C. M. (2013). A multicriteria prioritization model to support public safety planning. *Pesquisa Operacional*, *33*(2), pp. 251-267. <https://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382013000200007>.
- Hodgett, R. E. (2016). Comparison of multi-criteria decision-making methods for equipment selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *85*(5), pp. 1145–1157. doi:10.1007/s00170-015-7993-2.
- Hosseinzade, Z., Pagsuyoin, S. A., Ponnambalam, K., & Monem, M. J. (2017). Decision-making in irrigation networks: Selecting appropriate canal structures using multi-attribute decision analysis. *Science of The Total Environment*, *601-602*, 177-185.
- Hu, S.-K., Lu, M.-T., & Tzeng, G.-H. (2015). Improving Mobile Commerce Adoption Using a New Hybrid Fuzzy MADM Model. *International Journal of Fuzzy Systems*, *17*(8), 399-413.
- Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, *409*(19), 3578-3594.
- Huda, S., Sarno, R., & Ahmad, T. (2015). Fuzzy MADM approach for rating of process-based fraud. *Journal of ICT Research and Applications*, *9*(2), 111-128.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications, a state-of-the-art survey*. New York: Springer-Verlag.
- Infante, C. E., Mendonça, F. M., & Valle, R. A. (2014). Análise de robustez com o método Electre III: o caso da região de Campo das Vertentes em Minas Gerais. *Gestão & Produção*, *21*(2), pp. 245-255.
- Ishizaka, A., & Pereira, V. E. (2016). Portraying an employee performance management system based on multi-criteria decision analysis and visual techniques. *International Journal of Manpower*, *37*(4), 628-659. <https://doi-org.ez24.periodicos.capes.gov.br/10.1108/IJM-07-2014-0149>.
- Janstrup, K., Kaplan, S., Barfod, M., & Prato, C. (2017). Evaluating the police service quality for handling traffic crash reporting: A combined MCDA and LCA approach. *Policing: An International Journal of Police Strategies & Management*, *40*(2), 410-425. <https://doi-org.ez24.periodicos.capes.gov.br/10.1108/PIJPSM-03-2016-0032>.
- Jozí, S. A., Shoshtory, M. T., & Zadeh, A. R. (2015). Environmental Risk Assessment of Dams in Construction Phase Using a Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Method. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *21*(1), 1-16.
- Kahraman, C., Onar, S. C., & Oztaysi, B. (2015). Fuzzy Multicriteria Decision-Making: A Literature Review. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, *8*(4), 637-666.
- Karlson, M., Karlsson, C. S., Mörtberg, U., Olofsson, B., & Balfors, B. (2016). Design and evaluation of railway corridors based on spatial ecological and geological criteria. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *46*, 207-228.
- Karvetski, C. W., Lambert, J. H., & Linkov, I. (2011). Scenario and multiple criteria decision analysis for energy and environmental security of military and industrial installations. *Integrated Environmental Assessment and Management*, *7*(2), pp. 228-236. <https://dx.doi.org/10.1002/ieam.137>.
- Kim, Y., & Chung, E. S. (2013). Assessing climate change vulnerability with group multi-criteria decision making approaches. *Climatic Change*, *121*(2), 301-315.

- Lau, H. C., Ho, G. T., Zhao, Y., & Hon, W. T. (2010). Optimizing patrol force deployment using a genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 37(12), pp. 8148-8154. <https://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.05.073>.
- Leoneti, A. B. (2016). Considerations regarding the choice of ranking multiple criteria decision making methods. *Pesquisa Operacional*, 36(2), pp. 259-277. <https://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2016.036.02.0259>.
- Liberatore, F., & Camacho-Collados, M. (2016). A Comparison of Local Search Methods for the Multicriteria Police Districting Problem on Graph. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016(Art. n° 3690474), p. <https://dx.doi.org/10.1155/2016/3690474>.
- Linkov, I., & Seager, T. P. (2011). Coupling multi-criteria decision analysis, life-cycle assessment, and risk assessment for emerging threats. *Environmental Science and Technology*, 45(12), 5068-5074.
- Linkov, I., Bates, M. E., Canis, L. J., Seager, T. P., & Keisler, J. M. (2011). A decision-directed approach for prioritizing research into the impact of nanomaterials on the environment and human health. *Nature Nanotechnology*, 6(12), 784-787.
- Linkov, I., Trump, B., Jin, D., Mazurczak, M., & Schreurs, M. (2014). A decision-analytic approach to predict state regulation of hydraulic fracturing. *Environmental Sciences Europe*, 26(1).
- Lopez, J. C., Noriega, J. J., & Chavira, D. A. (2017). A Multi-Criteria Approach to Rank the Municipalities of the States of Mexico by its Marginalization Level: The Case of Jalisco. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 16(2), pp. 473-513. <http://dx.doi.org/10.1142/S0219622017500080>.
- Maimoun, M., Madani, K., & Reinhart, D. (2016). Multi-level multi-criteria analysis of alternative fuels for waste collection vehicles in the United States. *Science of the Total Environment*, 550, 349-361.
- Manning, M., Smith, C., & Homel, R. (2013). Overview of: "Valuing developmental crime prevention". *Criminology and Public Policy*, 12(2), pp. <https://dx.doi.org/10.1111/1745-9133.12023>.
- Mendoza, G. A., & Martins, H. (15 de July de 2006). Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*, 230(1-3), pp. 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.023>.
- Mignelli, C., Pomarico, S., & Peila, D. (2013). Use of multi-criteria model to compare devices for the protection of roads against Rockfall. *Environmental and Engineering Geoscience*, 19(3), pp. 289-302. <https://dx.doi.org/10.2113/gseegeosci.19.3.289>.
- Montazer, G. A., Saremi, H. Q., & Ramezani, M. (2009). Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection. *Expert Systems with Applications*, 36(8), pp. 10837-10847.
- Mousavi-Nasab, S. H., & Sotoudeh-Anvari, A. (2017). A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for material selection problems. *Materials and Design*, 121, pp. 237-253.
- Mühlbacher, A. C., & Kaczynski, A. (2016). Making good decisions in healthcare with multi-criteria decision analysis: The use, current research and future development of MCDA. *Applied Health Economics and Health Policy*, 14(1), 29-40.
- Nutt, D. J., King, L. A., & Phillips, L. D. (2010). Drug harms in the UK: A multicriteria decision analysis. *The Lancet*, 376(9752), pp. 1558-1565. [https://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)61462-6](https://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(10)61462-6).
- Özdemir, Ü., & Güneroğlu, A. (2015). Strategic approach model for investigating the cause of maritime accidents [Stratejik bir model yaklaşımı ile deniz kaza sebeplerinin araştırılması]. *Promet - Traffic – Traffico*, 27(2), pp. 113-123. <https://dx.doi.org/10.7307/ptt.v27i2.1461>.
- Pape, T. (2016). Prioritising data items for business analytics: Framework and application to human resources. *European Journal of Operational Research*, 252(2), 687-698.
- Pereira, V., Costa, H. G., & Nepomuceno, L. D. (2016). J-Electre (V.1.0) (software). Niterói, RJ, Brazil.
- Potić, I., Golić, R., & Joksimović, T. (2016). Analysis of insolation potential of Knjaževac Municipality (Serbia) using multi-criteria approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 235-245.
- Resolução n° 305. (13 de janeiro de 2010). DOERJ. Rio de Janeiro, Rj, Brasil: Secretaria de Estado de Segurança.
- Roy & Bouyssou. (1993). *Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas*. Paris: Economica.

- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *RIRO*, 8, pp. 57-75.
- Roy, B. (1978). ELECTRE III: Un algorithme de classement fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. *Cahiers du CERO*, 20, pp. 3-24.
- Roy, B. (1990). Decision-aid and decision-making. *European Journal of Operational Research*, 45(2-3), pp. 324-331.
- Roy, B., & Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à La décision: méthodes et cās*. Paris: Ed. Economica.
- Roy, B., & Slowinski, R. (Mars de 2013). Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method. *Cahiers du LAMSADE*, N° 337.
- Roy, B., & Bertier, P. (1971). *La methode ELECTRE II: Une methode de classement en presence de critteres multiples*. SEMA (Metra International), Direction Scientifique, Note de Travail No. 142, Paris.
- Roy, B., & Hugonnard, J. C. (1982). Classement des prolongements de métro en banlieue parisienne (Présentation d'une méthode multicritère originale). *Cahiers du CERO*, 23, 153-171.
- Roy, B., & Slowinski, R. (1984). ELECTRE IS - Aspects méthodologiques et guide d'utilisation. *Cahiers du LAMSADE*, 30, 125p.
- Sakthivel, G., Ilangkumaran, M., & Gaikwad, A. (2014). A hybrid multi-criteria decision modeling approach for the best biodiesel blend selection based on ANP-TOPSIS analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(1), 239-256.
- Schmitz, S., McCullagh, L., Adams, R., Barry, M., & Walsh, C. (2016). Identifying and revealing the importance of decision-making criteria for health technology assessment: A retrospective analysis of reimbursement recommendations in Ireland. *PharmacoEconomics*, 34(9), 925-937.
- Scholten, L., Maurer, M., & Lienert, J. (2017). Comparing multi-criteria decision analysis and integrated assessment to support long-term water supply planning. *PLoS ONE*, 12(5), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176663>.
- Shen, J., Lu, H., Zhang, Y., Song, X., & He, L. (2016). Vulnerability assessment of urban ecosystems driven by water resources, human health and atmospheric environment. *Journal of Hydrology*, 536, 457-470.
- Shen, K.-Y., Hu, S.-K., & Tzeng, G.-H. (2017). Financial modeling and improvement planning for the life insurance industry by using a rough knowledge based hybrid MCDM model. *Information Sciences*, 375, 296-313. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.09.055>.
- Shmelev, S. E., & Van Den Bergh, J. (2016). Optimal diversity of renewable energy alternatives under multiple criteria: An application to the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 679-691.
- Singh, B., Grover, S., & Singh, V. (2017). An empirical study of benchmarking evaluation using MCDM in service industries. *Managerial Auditing Journal*, 32(2), 111-147. <https://doi-org.ez24.periodicos.capes.gov.br/10.1108/MAJ-11-2015-1274>.
- Trestian, R., Ormond, O., & Muntean, G.-M. (2015). Performance evaluation of MADM-based methods for network selection in a multimedia wireless environment. *Wireless Networks*, 21(5), 1745-1763.
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. Dordrecht: Springer Science+Business Media.
- Vaidya, O., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>.
- Vallée, D., & Zielniewicz, P. (1994). *ELECTRE III-IV version 3.x: aspects méthodologiques (tome 1)*. Université Paris-Dauphine, Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision. Paris: Document du LAMSADE N° 85.
- Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66.
- Vincke, P. (1992). *Multicriteria decision-aid*. John Wiley & Sons.
- Wallenius, J., Dyer, J., Fishburn, P., Steuer, R., Zionts, S., & Deb, K. (2008). Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead. *Management Science*, 54(7), 1336-1349.
- Wan, S. P., Xu, G. I., & Dong, J. Y. (2017). Supplier selection using ANP and ELECTRE II in interval 2-tuple linguistic environment. *Information Sciences*, 385-386, pp. 19-38.

- Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., & Zhao, J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263-2278.
- Wang, P., Zhu, Z., & Wang, Y. (2016). A novel hybrid MCDM model combining the SAW, TOPSIS and GRA methods based on experimental design. *Information Sciences*, 345, 27-45.
- Wang, X., & Triantaphyllou, E. (2006). Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some multi-criteria decision analysis methods. Em A. Badiru (Ed.), *Handbook of Industrial and Systems Engineering* (pp. 27-12). FL, U.S.A: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Yu, W. (1992). Electre Tri — aspects méthodologiques et guide d'utilisation. *Document du LAMSADE*, 74. Paris: Université de Paris-Dauphine.
- Zong, F., & Wang, L. (2017). Evaluation of university scientific research ability based on the output of sci-tech papers: A D-AHP approach. *PLoS ONE*, 12(2), e0171437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171437>.
- Zyoud, S. H., & Fuchs-Hanusch, D. (2017). A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. *Expert System with Applications*, 78, 158-181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.016>.

Recebido em: 27 maio. 2018 / Aprovado em: 24 jan. 2019

Para referenciar este texto

Basilio, M. P., & Pereira, V. (2020). Estudo sobre a premiação das áreas de segurança pública no Rio de Janeiro via método multicritério: uma aplicação do método Electre III. *Exacta*, 18(1), 130-164. <https://doi.org/10.5585/Exacta.v18n1.8725>.