O USO DOS MÉTODOS MULTICRITÉRIOS AHP E ELECTRE I NA LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE ENSINO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO.

Leila Santiago Souza da Silva
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
leila.souza@poli.ufrj.br

Eduardo Infante
Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ
prof.eduinfante@ufsj.edu.br

Virgílio José Martins Ferreira Filho
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
virgilio@ufrj.br

RESUMO

Este trabalho resume dois dos principais métodos multicritérios para a tomada de decisão na localização de unidades públicas de ensino: o AHP e o Electre I abordando as características de cada metodologia e sua aplicação. Para a concepção da pesquisa foram utilizados dados abertos do município do Rio de Janeiro com a finalidade de avaliar a aplicabilidade dos métodos já consolidados na decisão de localização de uma unidade de ensino, ressaltando as vantagens e desvantagens de cada método para o caso em estudo. Os resultados encontrados foram coerentes, ressaltando a viabilidade dos métodos para a solução do problema.

PALAVRAS CHAVE. Métodos Multicritérios, Problema de localização, Tomada de decisão.

Tópicos: ADM – Apoio à Decisão Multicritério; AdP&ED – PO na Administração Pública e Educação

ABSTRACT

This paper summarizes two of the main multicriteria methods for decision making in the location of public teaching units: AHP and Electre I, addressing the characteristics of each method and its application. For a research study, open data were used in the city of Rio de Janeiro with a calculation of the applicability of methods already consolidated in the decision to locate a teaching unit, highlighting the advantages and advantages of each method for the case under study. The results found were coherent, highlighting the viability of the methods for solving the problem.

KEYWORDS. Multicriteria methods, Localization problem, Decision making.

Paper topics: ADM – Apoio à Decisão Multicritério

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

A oferta de unidades de educação infantil na rede pública está além de educação, mostra-se como um serviço indispensável para o aumento da qualidade de vida da população e principalmente independência financeira feminina. Tornando possível conciliar a maternidade com o desenvolvimento profissional. Vários gestores municipais têm empregado estratégias para ofertar de vagas na rede pública de ensino. Segundo [Sumiya e Craveiro 2020], entre as principais estratégias para atender a demanda por creches estão: a oferta de vagas em creches próprias; os convênios com as entidades não governamentais e com escolas privadas e a cessão de instalações públicas para que as entidades conveniadas se responsabilizem pelo serviço como a forma de flexibilizar a gestão do serviço. Estas iniciativas por ora, muitas vezes não seguem um processo estruturado de decisão. No entanto, a tomada de decisão em sistemas complexos e multidimensionais exige avaliar parâmetros que muitas vezes são de difícil mensuração. A subjetividade dos atributos do problema exige modelos que considerem avaliações quantitativas de critérios com alto grau de incerteza, além de tornar coerentes a tomada de decisão diante das tendências dos gestores, com a finalidade de encontrar uma solução que seja ótima para o que se propõe.

Os métodos de análise multicritérios têm sido aplicados com sucesso em diversas áreas do conhecimento. Segundo [Araújo e Amaral 2016] os métodos AMD se classificam em: Método da Teoria da Utilidade Multiatributo, que possui como característica a agregação do valor de uma alternativa em função dos seus critérios, neste método todas as ações são comparáveis e existe relações de transitividade entre as preferências; e Método da sobreclassificação, onde são realizadas avaliações segundo as relações de superação ou dominância entre as alternativas. Existem vários métodos que se encaixam em um desses dois grupos. O método Electre I da família Electre da escola francesa de AMD é classificado como um método de sobreclassificação e o Método AHP (*Analytic Hierarchy Process)* da escola Americana utiliza a teoria da Utilidade Multiatributo. Apesar dos métodos citados serem oriundos de metodologias diferentes, ambos têm sido utilizados para tratar problemas de localização de facilidades. No Electre I com a estratégia de escolher o melhor local para a implantar uma facilidade, já no AHP com a visão de ranqueamento das opções de acordo com as preferências dos decisores

As aplicações desses métodos são diversas, o método da família Electre, por exemplo, tem sido aplicado em escolha de projetos para desenvolvimento de software livre [Araújo e Amaral 2016], localização de reservatórios e usinas hidrelétricas [Raupp et al. 2017], localização de polos de educação à distância [Pereira et al. 2017], localização de aterros sanitários, entre outros. Já o modelo AHP também sem sido utilizado em problemas de localização de Unidades de Pronto Atendimento [Briozo e Musetti 2015], seleção de veículos anfíbios de assalto (AAV) para Landing Platform Dock (LDP) [**Yildizbasi** e **Özdemir** 2020]. Devido a efetividade dos métodos Electre 1 e AHP, essas duas metodologias serão objetos de estudo neste trabalho, o primeiro como o objetivo de selecionar a melhor localização para a implantação de uma unidade de ensino, já o segundo com o objetivo de ranquear os possíveis locais de implantação.

Conforme [Briozo e Musetti 2015], o problema de localização de facilidades sejam elas – escolas, hospitais, centros de distribuição, lojas etc. – tem dois objetivos principais: minimizar custos e reduzir as distâncias entre as facilidades e até os centros consumidores. De acordo com o trabalho dos autores, a característica do decisor exerce forte influência na formulação da função objetivo, que pode apresentar parâmetros mais econômicos, como no caso do setor privado, ou utilizar indicadores relacionados ao bem-estar da sociedade, como no setor público. Os autores abordam essa diferenciação de custos; consideram que o foco no setor público é não monetário, e visa atender às demandas sociais, enquanto no setor privado o custo de investimento é avaliado primariamente conforme o retorno monetário.

Em se tratando de localização de unidades públicas de ensino, [Pereira et al. 2017] em seu trabalho de localização de polos de EAD, utilizou como critérios para a avaliação: Demografia, Número de matrículas do grupo de estudo, IDEB (Índice de Desenvolvimento da

Educação Básica), IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) e Distância rodoviária entre os municípios. Nesta pesquisa além dos critérios: Demanda, Distância, IDEB e IDH, será considerado o critério Segurança com base nos dados do ISP – Instituto de Segurança Pública

A motivação do tema se deve à crescente demanda por unidade de educação infantil na cidade do Rio de Janeiro. Segundo [Moraes 2019] no ano passado, cerca de 36 mil crianças estavam na fila de espera das creches cariocas. Portanto, a demanda é muito maior que a oferta do sistema, e a solução deste problema social passa por encontrar alternativas viáveis economicamente através de modelos e métodos que auxiliam na determinação de locais ótimos para a construção de novas instalações. Conforme o artigo do autor, os bairros mais deficitários se encontram na zona oeste e na zona norte da cidade. Com isso, essa pesquisa tem o objetivo de estudar a possibilidade de escolha e ranqueamento das opções que poderiam receber as unidades tendo como base os dados apresentados pelo autor e com o auxílio dos métodos Electre I e AHP. Esta pesquisa trata da localização de unidades de ensino na Cidade do Rio de Janeiro. [Moraes 2019] aborda a carência de vagas na rede de educação municipal em especial na educação infantil. Segundo [Sumiya e Craveiro 2020], os estudos sobre a gestão dos sistemas de vagas na educação infantil e a implantação de políticas púbicas são relativamente escassos e carecem grandes investimentos e processos ágeis de implantação. Com isso, cabe aos gestores definir quais lugares são prioritários e o uso de processos estruturados de decisão como o AHP e o Electre I auxiliam na tomada de decisão. O AHP que viabiliza a determinação dos pesos critérios de análise com consistência e a hierarquização das alternativas e o Electre I para a seleção das opções com base nos pesos determinados pelo AHP. Este tipo de análise conjunta tem sido implementado por alguns autores como: [Yildizbasi e Özdemir 2020] e [Fallah et al. 2020].

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: a seção 2 contemplará o referencial teórico dos métodos AHP e Electre I. A seção 3 apresenta os procedimentos metodológicos dos métodos. A quarta seção faz uma síntese dos resultados encontrados na pesquisa e a última parte do trabalho é destinada à conclusão dos métodos.

2. Referencial Teórico

2.1 O Processo de Análise Hierárquica - AHP

Conforme [Alves José e Alves João 2015] o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty. Esta metodologia permite analisar critérios diferentes e contraditórios preestabelecidos por meio de julgamentos qualitativos e quantitativos. Como resultado, é possível ranquear as escolhas ao final do processo, permitindo a tomada de decisão dos gestores em problemas de diversas naturezas. [YILDIZBASI E ÖZDEMIR 2020]

Este método é muito utilizado para tratar problemas de localização, devido à facilidade de implantação e a consistência da técnica. Segundo [Ghorbanzadeh et al. 2019] o AHP é capaz de lidar com a inconsistências e as incertezas dos decisores. Com isso é possível decidir sobre a escolha de diversas facilidades como escolas, hospitais, centros de distribuição, lojas etc. Entre os objetivos principais dos problemas desta natureza, estão: a redução de custos de instalação das unidades, encurtar a distância percorrida pelo usuário do sistema e/ ou maximizar o atendimento da demanda no caso do decisor público. [Briozo e Musetti 2013]

O método AHP foi aplicado com sucesso no estudo realizado por [Alves José e Alves João 2015] na localização de uma unidade produtora do setor automotivo. Já os autores [Iack e Costa 2002] aplicaram o método na escolha de instrutores para os departamentos do DEP - Departamento de Ensino e Pesquisa do Exército brasileiro.

2.1.1 Construção do modelo

Conforme [Alves José e Alves João 2015] o AHP possui três princípios que modelam o processo de construção do modelo: Estruturação do problema em hierarquias; Definição das Prioridades e julgamentos e Consistência lógica. Na primeira etapa do processo, é construída uma

árvore hierárquica, em que no topo se encontra o objetivo do problema, o próximo nível é composto pelos critérios, e em um nível posterior, os subcritérios. Na parte inferior da árvore são dispostas as alternativas, aonde cada uma pode estar ligada fortemente ou não a um subcritério.

Na primeira etapa de Definição de Prioridades, são realizadas as comparações do tipo par a par entre critérios e entre alternativas sob algum critério. Os valores de comparação são utilizados conforme a Tabela 1. Esses julgamentos comporão a da matriz de decisão, que é formada por duas regras principais: $a_{ij} = 1/ a_{ji}$; se o elemento $a_{12} = 7$, $a_{21} = 1/7$ e a segunda regra é que $a_{ii} = 1$, ou seja, todos os elementos da diagonal principal serão iguais a 1. Com isso, a matriz de decisão terá a seguinte estrutura, conforme a equação Eq. 1.

Tabela 1- Tabela de pesos

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância fraca de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo relação ao outro.
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo relação ao outro.
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu predomínio de importância é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valor intermediário: entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições

Fonte: [Saaty e Vargas 2001].

$$\begin{vmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \cdots & 1 \end{vmatrix} \quad \text{Eq. 1}$$

Após a conclusão dos julgamentos, é calculado o autovetor da matriz. Segundo [Oliveira e Belderrain 2008] o autovetor da matriz ou o vetor de prioridades pode ser encontrado com o auxílio dos seguintes métodos: Método Autovetor Direito, Método da Média dos Valores Normalizados e o Método da Média Geométrica. Estes dois últimos métodos são algoritmos aproximados para o cálculo do autovetor das matrizes de decisão. A última etapa do Método AHP, compreende em avaliar a consistência lógica das matrizes de decisão. Segundo [Oliveira e Belderrain 2008] o índice de Consistência (IC) é definido conforme a equação Eq. 2:

$$IC = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \quad \text{Eq. 2}$$

No cálculo do IC, λ_{max} representa o auto valor da matriz. Além disso, o próximo passo segundo os autores, consiste em calcular a Razão de Consistência RC, confome a Eq. 3

$$RC = IC/RI \quad \text{Eq. 3}$$

Para o cálculo do RI (*Random Index*), [Oliveira e Belderrain 2008] sugeriu a Tabela 2, que representa valores de RI para uma matriz de ordem menor ou igual a dez:

Tabela 2 - Tabela de índices RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Autoria própria

Conforme o [Oliveira e Belderrain 2008], a razão de consistência deverá ser menor que 0,1, caso apresente um valor abaixo deste parâmentro a matriz deverá ser avaliada. Em termos subjetivos, os julgamentos dos decisores não são convergentes o suficiente para a tomada de decisão.

A última etapa do Processo de Análise Hierárquica – AHP consiste na consolidação do valor final de cada alternativa. Neste caso, cada critério já foi julgado pelos decisores e cada

critério possui um vetor de prioridades na comparação para a par em relação a cada alternativa. Com isso é gerado o vetor de decisão hierárquico que indicará quais alternativas deverão ser priorizadas

2.2 O ELECTRE

O método ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*) pertence à escola francesa de Apoio à Decisão Multicritério (ADM). Segundo [Gomes, L e Gomes, C 2019], os primeiros métodos da família ELECTRE I e II foram propostos por (Roy, 1968; Roy e Bertier 1971 e 1973). A principal característica desde método é a busca pela alternativa mais bem avaliada entre os critérios, tendo como método de comparação as relações de dominância entre os pares. Segundo [Raupp et al. 2017] a alternativa escolhida nem sempre será aquela que representa um ótimo global matemático, mas sim aquela que possui avaliação satisfatória dentre os critérios, com isso pode não ser válida a relação: se a alternativa A supera B e B supera C então A supera C.

O método é utilizado para problemas discretos, e são considerados índices de concordância e discordância na função avaliadora das alternativas. Com isso, apenas aquelas que possuem índices satisfatórios poderão ser escolhidas no final do processo. [Pereira et al. 2017] abordam que essas alternativas formam um subconjunto k, onde pelo menos uma delas terá dominância sobre as outras. Essa relação de superação (*outraking methods*) se difere da comparação realizada pela AHP. Além disso, o Electre possui outras versões: Electre (I, II, III, IV, IS e TRI), o Electre Tri também é conhecido como Electre TRI -B ou TRI-C. o principal diferencial dos métodos da família Electre é a relação de preferência entre duas ações.

Conforme [Pereira et al. 2017], o método possui duas etapas: na primeira determinam-se as relações de sobreclassificação (*outranking*) com a construção dos índices de concordância e Discordância, e segunda etapa consiste em encontrar o subconjunto de alternativas viáveis para a solução do problema.

2.2.1 Relações de sobreclassificação

Conforme [Gomes, L e Gomes, C 2019], na comparação entre duas ações são possíveis as seguintes relações de preferências: Indiferença – Quando duas alternativas são claramente equivalentes. Exemplo: aIb ou bIa.; Preferência estrita – Quando uma ação é claramente mais definida que a outra. Exemplo: aPb ou bPa.; Preferência fraca – Quando não existem razões claras que tendem para a preferência estrita de uma ação comparada à outra. Exemplo aQb ou bQa.; Incomparabilidade – Quando não existem razões que se encaixam nas situações anteriores.

A sobreclassificação de uma alternativa em relação a outra, indicado por aSb ocorre quando existe razões de preferência, ou seja, aSb quando aIb ou aPb ou aQb. Portanto ocorre uma razão de preferência entre duas ações, não ocorrendo um não julgamento entre as partes. Segundo [Gomes, L e Gomes, C 2019], a relação de sobreclassificação combina as relações de: Indiferença, Preferência estrita e Preferência fraca. Assim, quando uma ação sobreclassifica outra deseja-se saber o quanto aquela alternativa a supera ou se realmente existe dominância, e em quais critérios isso ocorre. Ainda segundo os autores, dentro de um conjunto de alternativas, as dominantes formam um subconjunto k, onde qualquer uma pertencente a este conjunto são melhores àquelas que estão no conjunto complementar de k.

Dentro desse contexto, dois parâmetros são utilizados no modelo: a Concordância e a Discordância. A concordância avalia o quanto um subconjunto de critérios pondera a preferência de uma alternativa à outra. Já a discordância considera a amplitude dessa da diferença entre duas alternativas. Assim o limite de discordância deve ser o menor possível e o limite de concordância relativamente grande para uma alternativa ser aceita. Segundo os autores [Gomes, L e Gomes, C 2019], a sobreclassificação de uma alternativa A a B, (aSb) ocorre se e somente se a concordância entre as alternativas for maior ou igual ao limite de concordância e a discordância for menor ou igual ao limite de discordância, conforme a Eq. 4.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

$$aSb \ \ se, e\ somente\ se\ \frac{C(a,b) \geq C}{D(a,b) \leq D} \qquad \text{Eq. 4}$$

2.2.1.1 Concordância

A concordância entre duas alternativas em que aSb avalia o quanto a alternativa a supera a alternativa b. Então se faz necessário considerar todos os casos em que esta alternativa teve preferência estrita e todos os casos de indiferença em um conjunto que considere todos os casos possíveis.

Dado um conjunto de alternativas e um conjunto de critérios então aSb se, e somente se g(a) ≥ g(b). Assim cada alternativa possui uma função avaliadora g em um critério aonde são realizadas as seguintes comparações entre as alternativas considerando o somatório dos pesos dos critérios simbolizados por P, em que: P+ (a, b) ocorre quando g(a) > g(b); P= (a, b) quando g(a) = g(b) e P^-(a, b), g(a) < g(b). Assim a concordância C (a, b) representada pela equação Eq. 5 representa a razão entre os casos favoráveis à esta alternativa.

$$C(a,b) = \frac{P^+(a,b) + P^=(a,b)}{P^+(a,b) + P^=(a,b) + P^-(a,b)}, \quad C(a,b) \in [0,1] \qquad \text{Eq. 5}$$

2.2.1.2 Discordância

Segundo [Gomes, L e Gomes, C 2019], a discordância viabiliza a rejeição de uma sobreclassificação de uma alternativa a outra, se a diferença entre as funções for relativamente grande em pelo menos um critério. Conforme os autores, a discordância entre a e d, indicado por D (a, b) é a razão entre a máxima diferença entre g(b) e g(a) e uma escala do critério considerado caso a discordância seja absoluta, mostrado na equação Eq.6. Esta escala pode ser calculada com base na diferença entre o maior e o menor valor dentro do critério analisado. Considerando uma discordância relativa, o denominador dessa razão será g(a) para o critério em análise.

$$D(a,b) = máx\ (\frac{g_i(b) - g_i(a)}{Escala\ i}\ , para\ i = 1, \dots, n) \qquad \text{Eq. 6}$$

2.2.1.3 Matriz de Vetos

Segundo [Araújo e Amaral 2016], os limites de Concordância e Discordância definirão as relações de sobreclassificação, conforme a equação 4. Caso ambas relações de concordância e discordância de um par estejam neste intervalo, o índice avaliado receberá o valor 1 na matriz de veto, se a condição não for satisfeita receberá valor 0.

A partir da construção da matriz de vetos, as relações de sobreclassificação são representadas em um grafo orientado. Assim se uma alternativa A sobreclassifica B, recebendo valor 1 na matriz de vetos, na representação do grafo será orientado de A para B. Caso não haja relação de sobreclassificação de alguma alternativa, o vértice que a representa não terá ligação no grafo. Neste caso, existe uma relação de incomparabilidade [Gomes, L e Gomes, C 2019].

Este estudo seguirá a seguinte metodologia de análise: como primeiro passo as avaliações são feitas com base nos critérios sugeridos por [Pereira et al. 2017]. Na segunda etapa, os pesos dos critérios e matriz de decisão, que precisam do método Electre I, é criado com a ajuda do método AHP e os dados coletados conforme as fontes. Na terceira etapa, o problema é resolvido pelo método Electre I com a matriz de decisão e pesos dos critérios. Conforme metodologia aplicada por [Yildizbasi e Özdemir, M. B 2020] e [Assis, Garcia e Silva 2018] que consiste na ponderação por meio da AHP e seleção das alternativas no método Electre I.

3. Estudo de caso - Localização de Unidades de Ensino na Cidade do Rio de Janeiro

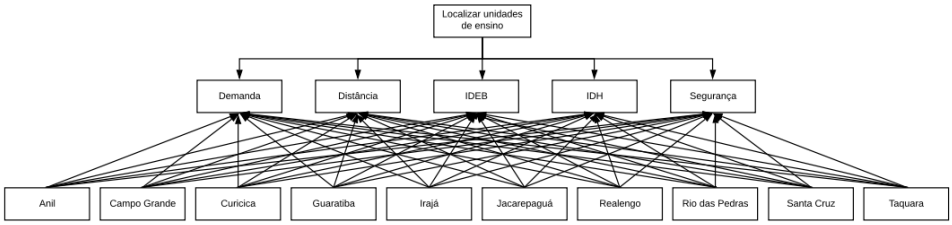
3.1 AHP

A metodologia AHP destina-se a analisar as opções e hierarquizá-las com base nos julgamentos de valor e preferência. Seguindo a metodologia, a representação hierárquica conforme a Figura 1 tem o objetivo de localizar as unidades de ensino em seu nível 1. O próximo nível é composto pelos critérios de decisão, propostos por [Pereira et al. 2017] com o acréscimo

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

do critério segurança tendo assim exauridos os critérios para o tema. No nível 3 se encontram as alternativas, compostas por dez bairros mais deficitários por vagas segundo [Moraes 2019].

Figura 1 - Hierarquia do Modelo



Fonte: Autoria própria

A escolha dos critérios seguiu a abordagem de [Pereira et al. 2017] e a valoração deles foi realizada por meio de revisão bibliográfica. O Quadro 1 define os critérios de forma mais detalhada. Todos os valores do Quadro 1 estão consolidados na Tabela 3.

Para o cálculo da distância em quilômetros entre as opções e os centroides conforme o Quadro 2, foram utilizadas as opções do Quadro 3 obtidas através dos dados do Projeto Rio Mais Creches [SME 2020], que representam possíveis locais para a instalação de unidades de ensino. Essas localizações estão organizadas pela abrangência da Coordenadoria Regional de Educação municipal (CRE), assim, a localidade definida por 5.1 pertence à região administrada pela 5º CRE.

Quadro 1- Definição dos critérios

Critérios	Definição
Demanda	Representa o número de pessoas na fila de espera por unidades escolares organizados por bairro. Fonte: [Moraes 2019]
Distância (m)	Representa a menor distância em metros do centróide do bairro às opções do Quadro 2. Essas distâncias foram calculadas com o auxílio do software Arcgis. Fonte: [Moraes 2019], [SME 2020]
IDEB	IDEB - Índice de Desenvolvimento da Educação Básica - Este índice mede a qualidade do aprendizado no âmbito nacional. Ele é calculado com base na taxa de rendimento escolar e no desempenho nas provas do INEP. Neste estudo, foi considerada a mediana dos valores das unidades escolares localizadas no bairro de estudo. Fonte: [INEP 2020]
IDH	IDH - Índice de Desenvolvimento Humano - Este índice afere o grau de desenvolvimento da população nos quesitos educação, saúde e renda. Na pesquisa os valores se referem ao IDH do bairro ou grupo de bairros. Fonte: [Data Rio 2020]
Segurança	Os valores foram avaliados segundo os dados do ISP – Instituto de Segurança Pública. O índice utilizado na pesquisa foi de o Letalidade Violenta que considera a quantidade de homicídios dolosos, mortes em operações do Estado, latrocínios, e lesão corporal seguida de morte. Esses dados se referem às ocorrências no ano de 2019 dos bairros estudados. Fonte: [ISP 2020]

Fonte: Autoria Própria

Tabela 3 - Matriz de Critérios e Alternativas

CRITÉRIOS ALTERNATIVAS	Demanda	Distância (m)	IDEB	IDH	Segurança
A1 - Anil	3196	1360,00	5,90	0,632	117
A2 - Campo Grande	3292	1401,00	5,70	0,572	69
A3 - Curicica	4202	1768,00	5,80	0,580	117
A3 - Guaratiba	2615	6178,00	5,40	0,487	20
A4 - Irajá	2402	1334,00	5,70	0,615	61
A5 - Jacarepaguá	2305	2593,00	5,50	0,554	117
A6 - Realengo	1917	1682,00	5,40	0,574	99
A7 - Rio das Pedras	3080	2481,00	6,00	0,506	117
A8 - Santa Cruz	2615	1849,00	4,80	0,527	34
A9 - Taquara	1750	1632,00	5,70	0,612	117

Fonte: Autoria Própria

Quadro 2 - Distância entre as unidades de análise

Bairros	Opções																					Valor Mínimo
	5.1	5.2	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	10.1	
A1 - Anil	12,3	11,6	2,2	1,6	1,4	7,7	4,7	4,3	12,0	16,8	17,0	17,5	17,0	17,1	17,8	23,7	26,5	22,2	24,0	24,4	31,9	37,7	1,4
A2 - Campo Grande	23,4	21,3	24,7	23,7	21,9	15,9	19,6	20,8	13,6	6,5	6,3	7,6	8,3	8,6	6,8	1,4	3,5	4,2	0,80	6,7	9,3	16,9	0,8
A3 - Curicica	13,3	11,9	6,3	6,0	3,7	4,2	1,8	5,1	8,9	12,0	12,3	13,4	13,0	13,1	13,4	19,0	21,6	17,1	12,67	19,3	26,9	32,7	1,8
A4- Guaratiba	31,6	29,5	26,4	27,2	24,8	21,2	21,4	25,7	21,7	14,6	14,8	18,1	18,6	19,0	17,1	14,2	12,1	8,9	12,99	6,2	12,6	13,6	6,2
A5 - Irajá	1,3	2,7	15,7	12,2	13,5	11,7	15,8	9,8	10,5	18,2	18,1	16,0	15,3	14,9	16,8	23,2	27,0	24,9	24,34	28,0	32,9	40,4	1,3
A6 - Jacarepaguá	12,2	10,8	6,1	5,3	3,2	3,7	2,6	4,1	8,3	12,2	12,5	13,2	12,8	12,9	13,4	19,1	21,9	17,6	19,43	19,9	27,3	33,3	2,6
A7 - Realengo	11,8	9,6	14,9	12,9	11,7	5,3	11,0	9,5	1,7	6,1	6,0	4,8	4,2	4,2	5,4	11,9	15,5	12,8	12,74	15,8	21,3	28,4	1,7
A8 - Rio das Pedras	15,5	15,2	2,5	4,9	5,5	12,0	7,7	8,4	16,3	20,8	21,0	21,8	21,3	21,3	21,9	27,7	30,3	25,7	27,90	27,7	35,5	40,9	2,5
A9 - Santa Cruz	39,9	37,7	38,9	38,8	36,6	31,5	33,7	36,4	29,9	22,3	22,3	24,1	24,7	25,1	23,2	16,9	13,0	15,9	15,67	13,6	7,3	1,8	1,8
A10 - Taquara	10,3	8,7	8,1	6,3	5,0	1,6	5,1	3,4	6,0	11,0	11,2	11,4	10,9	10,9	11,7	17,8	20,9	17,0	18,31	19,6	26,5	32,9	1,6

Fonte: Autoria própria

Quadro 3 - Opções para a localização de unidades de ensino

Opções	Endereços	Opções	Endereços
5.1	Av. Monsenhor Félix, 512 – Irajá.	**8.4**	Praca Gramacho - Bangu
5.2	R. Pão de Açúcar - Rocha Miranda.	**8.5**	Rua Janarité - Bangu
7.1	Avenida Principal do Rio das Pedras	**8.6**	Rua São Petersburgo - Bangu
7.2	Rua Sagarana - Jacarepaguá	**8.7**	Rua Cabo Eutrópio Freitas - Senador Camará
7.3	Rua Guilherme Moreira - Jacarepaguá	**9.1**	Rua João Gualberto Braga - Campo Grande
7.4	Av. A, próximo ao número 13 - Jacarepaguá	**9.2**	Avenida Pedro Geraldo de Almeida- Campo Grande
7.5	Av. Vice Pres. José Alencar - Jacarepaguá	**9.3**	Rua Consolação - Campo Grande
7.6	Rua Aldo Rebello - Pechincha	**9.4**	Estrada do Monteiro - Campo Grande
8.1	Rua Tenente Pereira - Magalhaes Bastos	**9.5**	Rua Chico Moreira - Campo Grande
8.2	Praca Navegantes - Senador Camará	**9.6**	Rua X - Paciência
8.3	Rua Narandiba - Senador Camará	**10.1**	Rua A - Santa Cruz

Fonte: Autoria própria

A matriz de Decisão e o vetor de prioridades foram gerados segundo a escala de [Saaty e Vargas 2001], e o auto valor da matriz foi gerado pelo método aproximado da média geométrica. Os dados foram consolidados na Tabela 4. Diante desses dados, o índice de Consistência (IC) obtido foi 0,06 e a Razão de Consistência encontrada foi 0,06. Portanto os dados são consistentes.

Tabela 4 – Matriz de Decisão e Vetor de Prioridades – Critérios

Critérios	Critérios					Autovetor	Autovetor normalizado
	Demanda	Distância	IDEB	IDH	Segurança		
Demanda	1	5	9	9	3	4,14	0,54
Distância	1/5	1	3	3	1/5	0,82	0,11
IDEB	1/9	1/3	1	1/3	1/5	0,30	0,04
IDH	1/9	1/3	3	1	1/7	0,44	0,06
Segurança	1/3	5	3	7	1	2,04	0,26
Soma	1 3/4	11 2/3	19	20 1/3	4 1/2	7,73	1,00

Fonte: Autoria Própria

A Matriz de Decisão se encontra na Tabela 5, de acordo com os resultados os três bairros mais prioritários são: Guaratiba 14,60%, Santa Cruz 11,88% e Curicica com 11,47% que foram influenciados principalmente pela alta demanda e/ ou pelos índices de segurança, que são os critérios com o maior peso de decisão. A distância vem em terceiro lugar, considerando que o discente prefira uma unidade de ensino próxima à sua residência. Já os critérios: IDEB e IDH possuem pesos próximos, sendo este mais valorado por expressar variáveis mais abrangentes

Tabela 5 - Matriz de Decisão e Vetor de decisão

Alternativas	MATRIZ DE DECISÃO					VETOR DE DECISÃO
	Demanda	Distância	IDEB	IDH	Segurança	
Vetor de Critérios	50,79%	11,06%	4,29%	6,23%	27,63%	
A1 - Anil	11,68%	13,46%	10,55%	11,17%	5,24%	10,01%
A2 - Campo Grande	12,03%	13,07%	10,20%	10,11%	8,88%	11,07%
A3 - Curicica	15,35%	10,35%	10,38%	10,25%	5,24%	11,47%
A4 - Guaratiba	9,55%	2,96%	9,66%	8,61%	30,65%	14,60%
A5 - Irajá	8,77%	13,72%	10,20%	10,87%	10,05%	9,87%
A6 - Jacarepaguá	8,42%	7,06%	9,84%	9,79%	5,24%	7,54%
A7 - Realengo	7,00%	10,88%	9,66%	10,14%	6,19%	7,52%
A8 - Rio das Pedras	11,25%	7,38%	10,73%	8,94%	5,24%	9,00%
A9 - Santa Cruz	9,55%	9,90%	8,59%	9,31%	18,03%	11,88%
A10 - Taquara	6,39%	11,22%	10,20%	10,81%	5,24%	7,05%
Soma	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: Autoria Própria

3.2 O MÉTODO ELECTRE I

A aplicação do método Electre I segue a metodologia de sobreclassificação entre as alternativas e tem objetivo de encontrar a escolha mais bem avaliada pelos critérios de análise. Conforme o método faz-se necessário a normalização dos pesos de cada critério e das alternativas que serão analisadas no problema de localização de uma unidade escolar. Mantendo a preferência dos critérios de acordo com a Tabela 5, será atribuído peso 5 para Demanda, peso 4 para Segurança, 3 para Distância, 2 para IDH e 1 Para IDEB. A Tabela 6 sintetiza esses dados já normalizados.

Conforme a metodologia do Electre I , o índice de concordância seguindo a equação Eq. 5 utilizando os valores da Tabela 6. Com isso, a concordância das escolhas 1 e 2 por exemplo, tem como resultado 0,2667. Com a consolidação desses dados foi possível gerar a matriz de concordância conforme a Tabela 7.

Para o cálculo dos índices de discordância entre as alternativas, foi utilizada a equação Eq. 6, aonde a escala utilizada foi a escala do critério Segurança (0,3065 – 0,0524 = 0,2541) que possui maior amplitude de valor comparado como os demais critérios, conforme os dados da Tabela 6. No cálculo do índice de discordância, foram retiradas as máximas diferenças entre duas alternativas e divididas pela Escala i, por exemplo D(1,2) = máx [(0,0035; -0,0039; -0,0036; -0,0106; 0,0364) / (0,2541)] ; D(1,2) = 0,0364/ 0,2541; D (1,2) = 0,1434. Os dados estão consolidados na tabela 8.

Tabela 6 – Matriz de Decisão com pesos normalizados.

Matriz de decisão com pesos normalizados					
Alternativas/ Critério	Demanda	Distância	IDEB	IDH	Segurança
Pesos	0,3333	0,2000	0,0667	0,1333	0,2667
A1 - Anil	0,1168	0,1346	0,1055	0,1117	0,0524
A2 - Campo Grande	0,1203	0,1307	0,1020	0,1011	0,0888
A3 - Curicica	0,1535	0,1035	0,1038	0,1025	0,0524
A4- Guaratiba	0,0955	0,0296	0,0966	0,0861	0,3065
A5 - Irajá	0,0877	0,1372	0,1020	0,1087	0,1005
A6 - Jacarepaguá	0,0842	0,0706	0,0984	0,0979	0,0524
A7 - Realengo	0,0700	0,1088	0,0966	0,1014	0,0619
A8 - Rio das Pedras	0,1125	0,0738	0,1073	0,0894	0,0524
A9 - Santa Cruz	0,0955	0,0990	0,0859	0,0931	0,1803
A10 - Taquara	0,0639	0,1122	0,1020	0,1081	0,0524

Fonte: Autoria Própria

Tabela 7 – Matriz de Concordância

Matriz de Concordância										
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1		0,4000	0,6667	0,7333	0,5333	1,0000	0,7333	0,9333	0,7333	1,0000
A2	0,6000		0,4667	0,7333	0,4000	1,0000	0,8667	0,9333	0,7333	0,8667
A3	0,6000	0,5333		0,7333	0,4000	1,0000	0,5333	0,9333	0,7333	0,6667
A4	0,2667	0,2667	0,2667		0,6000	0,6000	0,6667	0,2667	0,6667	0,6000
A5	0,4667	0,6667	0,6000	0,4000		1,0000	1,0000	0,6000	0,4000	1,0000
A6	0,2667	0,0000	0,2667	0,4000	0,0000		0,4000	0,4000	0,2000	0,6000
A7	0,2667	0,1333	0,4667	0,4000	0,0000	0,6000		0,6000	0,4000	0,6000
A8	0,3333	0,0667	0,3333	0,7333	0,4000	0,8667	0,4000		0,4000	0,6667
A9	0,2667	0,2667	0,2667	0,6667	0,6000	0,8000	0,6000	0,6000		0,6000
A10	0,2667	0,2000	0,6000	0,4000	0,0667	0,6667	0,4000	0,6000	0,4000	

Fonte: Autoria Própria

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Tabela 8 – Matriz de Discordância

Matriz de Discordância										
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1		0,1434	0,1446	1,0000	0,1893	0,0000	0,0375	0,0070	0,5033	0,0000
A2	0,0417		0,1308	0,8566	0,0459	-0,0125	0,0014	0,0211	0,3599	0,0278
A3	0,1222	0,1434		1,0000	0,1893	0,0000	0,0375	0,0141	0,5033	0,0340
A4	0,4131	0,2908	0,2908		0,4234	0,1612	0,3117	0,1738	0,2730	0,3248
A5	0,1141	0,1280	0,2588	0,8107		-0,0139	-0,0211	0,0975	0,3141	0,0000
A6	0,2519	0,2364	0,2727	1,0000	0,2622		0,1505	0,1114	0,5033	0,1636
A7	0,1839	0,1977	0,3285	0,9625	0,1518	0,0558		0,1672	0,4658	0,0264
A8	0,2393	0,2238	0,1613	1,0000	0,2497	0,0334	0,1379		0,5033	0,1510
A9	0,1401	0,1246	0,2282	0,4967	0,1504	0,0493	0,0422	0,0845		0,0634
A10	0,2079	0,2217	0,3525	1,0000	0,1893	0,0798	0,0375	0,1912	0,5033	

Fonte: Autoria Própria

A matriz de veto foi determinada com base nos limiares de concordância e discordância conforme a equação 4. Nesta pesquisa o limite de concordância C = 0,70 e o limite de discordância foi fixado em D = 0,30. Na construção da matriz, o elemento recebe o valor 1 se está no intervalo dos limites pré-fixados e 0 caso contrário. Os dados estão representados na Tabela 9.

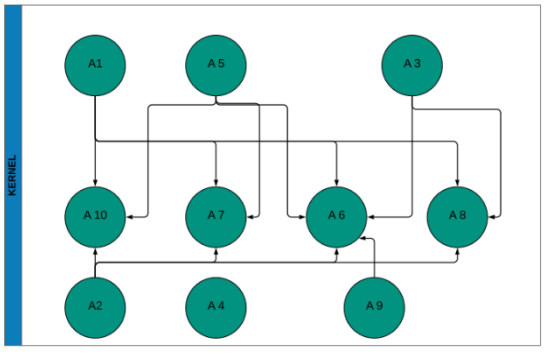
Tabela 9 – Matriz de Vetos

Matriz de Vetos										
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1		0	0	0	0	1	1	1	0	1
A2	0		0	0	0	1	1	1	0	1
A3	0	0		0	0	1	0	1	0	0
A4	0	0	0		0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0		1	1	0	0	1
A6	0	0	0	0	0		0	0	0	0
A7	0	0	0	0	0	0		0	0	0
A8	0	0	0	0	0	1	0		0	0
A9	0	0	0	0	0	1	0	0		0
A10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fonte: Autoria Própria

Os resultados da matriz de Vetos são representados em um grafo, ou kernel. Este grafo será direcionado conforme as relações de sobreclassificação. Quando uma alternativa não tem ligação no grafo, trata-se como um caso de incomparabilidade, ou seja, não existem razões claras e suficientes de preferência ou indiferença frente as outras escolhas. Conforme a Figura 2, A4 – que representa Guaratiba tem relações de incomparabilidade com as demais opções. As alternativas {A1, A2, A3, A5 e A9} não são sobreclassificadas, ou seja, representam melhores opções de escolha de instalação. Já as opções {A6, A7, A8 e A10} são sobreclassificadas, isto é, são boas alternativas para o decisor.

Figura 2 - Kernel



Fonte: Autoria própria

4. Discussões

Os resultados mostraram similaridades na escolha das alternativas, com o uso dos métodos: AHP e Electre I. Segundo [Raupp et al. 2017] o método AHP tem o objetivo de definir a melhor alternativa, agregando todos os critérios em um único modelo comparando-as. Além disso, o método é compensatório, uma vez que o menor desempenho em uma alternativa compensa o melhor em outra. Com isso, existe um melhor favorecimento das alternativas com menor peso. A desvantagem do AHP pode estar associada no alto grau de subjetividade da escolha dos decisores que pode levar a uma avaliação mais partidária. Quanto ao método Electre I, conforme [Pereira et al. 2017], o método é não compensatório, a escolha das alternativas é realizada por relações de superação e dominância. Esta abordagem de superação e sobreclassificação pertente à corrente francesa de pensamento. A avaliação da melhor alternativa ocorre em pares dentro dos critérios por relação de superioridade permitindo assim maior equilíbrio na decisão. No método Electre I os limites de Concordância e Discordância definem a escola ou não da sobreclassificação. Com isso, se a amplitude dos valores absolutos desses índices for suficientemente grande, pode não haver sobreclassificação em alternativas que possuem alta variação em seus pesos nos critérios.

Comparando os resultados gerados, alguns bairros como Anil, Campo Grande, Curicica e Santa Cruz possui preferência de instalação em ambos critérios. No AHP, Guaratiba tem maior preferência de instalação frente aos demais, já no Electre I este bairro se mostra como um caso de incomparabilidade, ou seja, não existem razões claras para a sua escolha. Em uma análise de sensibilidade, com a retirada de Guaratiba do estudo no método Electre I verifica-se que não há casos de incomparabilidade, e a única diferença é a sobreposição de A3 (Curicica) à A10 (Taquara). No método AHP, com a saída de Guaratiba, Santa Cruz (14,72%) se mostra mais prioritária, seguido por Curicica (13,08%) e Campo Grande (12,95%). A análise mostra que não há variação de tendência na escolha com a retirada do bairro.

5. Conclusão

Segundo [Araújo e Amaral 2016] os métodos de Análise de Decisão Multicritério são aplicados em diversas áreas e têm o objetivo de escolher, hierarquizar, classificar ou fazer uma descrição das atividades em um problema que tenha muitos critérios. Com isso, esta pesquisa utilizou dois métodos diferentes: o AHP e o Electre I, porém com o mesmo objetivo de escolher uma alternativa para a localização de uma unidade de ensino com base em alguns critérios. A aplicação dos métodos foi satisfatória, pois a hierarquização do AHP e o uso o vetor de pesos dos critérios deste método como entrada na matriz de decisão do ElectreI, valida a escolha das alternativas de forma coerente com a intenção do decisor e permite confiabilidade analítica com a comparação par a par do Electre I.

No caso estudado, o método comprovou os resultados obtidos no AHP, porém com baixa amplitude dos limites de concordância e discordância. Quanto ao Electre I, a simplicidade do método foi aderente ao problema e valida a sua aplicação em problemas complexos. O método indicou os bairros: Anil e Campo Grande, como alternativas melhores frente às demais, pois sobreclassificam várias outras escolhas e Guaratiba como uma alternativa que demanda prioridade no AHP. No caso estudado, o método comprovou os resultados obtidos no AHP, onde foi possível analisar as melhores escolhas para instalar novas unidades de ensino.

Para trabalhos futuros, sugere-se: a reavaliação dos pesos de cada critério; a inserção de novas alternativas para a análise e a utilização de outros métodos de análise AMD na solução deste tipo de problema. Estas sugestões poderiam gerar boas soluções para o problema.

Referências

Araújo, J.J. e Amaral, T.M. (2016). Aplicação do método ELECTRE I para problemas de seleção envolvendo projetos de desenvolvimento de software livre. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, 11: 121-137

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Alves, José R. X. e Alves, João, M. (2015). Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP). Production, v. 25, n. 1, p. 13-26.

Assis, T.F., Garcia, B. T. G., Silva, M. A. V. (2018) Seleção de alternativas de transporte potenciais de commodity agrícola por meio de análise de decisão multicritério. Revista de Engenharia e Tecnologia. v.10, n.2.

Briozo, R. A., Musetti, M.A., (2015). Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma unidade de Pronto Atendimento – UPS 24h. Gest. Prod., São Carlos- SP- Brasil.

Data rio (2020). Web page. http://www.data.rio/datasets/índice-de-desenvolvimento-social-ids-por-áreas-de-planejamento-ap-regiões-de-planejamento-rp-regiões-administrativas-ra-bairros-e-favelas-do-município-do-rio-de-janeiro-2010 Acessado: 2020-04-26.

Fallah, S. Sharif, M., Marbini, A. J., Jafari, P., (2020). *Measurement of Spatial equity in the distribution of urban services with an emphasis on distributive justice approach: case study: District 10 of Tabriz* . Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, v. 12, Issue IV: p. 2612- 2631

Ghorbanzadeh, O., Moslem,S., Blaschke,T., Duleba,S. (2019). *Sustainable Urban Transport Planning Considering Different Stakeholder Groups by an Interval-AHP Decision Support Model,* Sustainability, 11, 9. Web page. http:// https://www.mdpi.com/2071-1050/11/1/9./ Acessado: 2020-05-26.

Gomes, L. F. A. M., Gomes, C. F. S. (2019). Princípios e métodos para tomada de decisão: enfoque multicritério. 6.ed. Editora Atlas, São Paulo.

Iack, C. B. e Costa, H. G. (2002). Análise Multicritério Aplicada à Seleção de Instrutores para Escola Militar Utilizando o Método de Análise Hierárquica (AHP). Web page. http:// inovarse.org/filebrowser/download/9248 ./ Acessado: 2020-04-26.

INEP (2020). Web page. http://idebescola.inep.gov.br/ideb/consulta-publica./ Acessado: 2020-04-26.

ISP (2020). Web page. http://www.ispvisualizacao.rj.gov.br/Letalidade.html/ Acessado: 2020-04-26.

Moraes, G. (2019). Web page. https://extra.globo.com/noticias/rio/mais-de-36-mil-criancas-estao-na-lista-de-espera-por-creche-no-rio-23854493.html/. Acessado: 2020-04-26.

Oliveira, C.A., Belderrain, M.C.N., (2008). Considerações sobre a obtenção de vetores de prioridades no AHP. I ERABIO – XXI ENDIO- XIX EPIO, Posadas, Misiones, Argentina.

Pereira, L.A.C., Patrão, C.N., Erthal, M. (2017). Expansão da Educação no Território Fluminense: Um Enfoque Multicritério. Revista Cadernos do Desenvolvimento Fluminense. 12: 37 – 54.

Raupp, I., Costa, F., Damazio, J., Clímaco, J., Miguez, M. (2017). Seleção Multicritério de Alternativa de localização de Reservatórios e Usinas Hidroelétricas em Bacias Hidrográficas Considerando Parâmetros de Indiferença e Preferência. Cadernos do IME- Série Estatística. 43: 1-17.

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). Models, methods, concepts applications of the analytic hierarchy process. Norwell: Kluwer Academic Plublishers. Web page: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1 /. Acessado: 2020-04-26.

SME - Web page. http://www.rio.rj.gov.br/web/sme/rio+creche/ Acessado: 2020-04-26.

Sumiya, LA; Craveiro, S. (2020) O desafio da ampliação de vagas em creches: os diferentes mecanismos de gestão da Prefeitura de São Paulo. Revista @mbienteeducação. São Paulo: Universidade Cidade de São Paulo, v. 13, n. 1, p.133-154.

Yildizbasi, A., Özdemir, M. B. , (2020). *A Decision-Making Model Proposal (Aav) For Selection Of Amphibious Attack Vehicles For Landing Platform Dock (Lpd) By Integrated Mcdm Methods*. *Konya Journal of Engineering Sciences* v. 8, n. 2: 369-383.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings