

UM MODELO DE ROTEIRIZAÇÃO PARA RONDAS ESCOLARES PREVENTIVAS DA GUARDA MUNICIPAL

Bruno Leonardo Santos Menezes

Doutorando da Faculdade de Tecnologia do SENAI – CIMATEC
Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, 41650-010 - Salvador, BA – Brasil
brunomenezes@email.com

Marcio Nakayama Miura

Professor da Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Rua Universitária, 1619, Universitário85819-110 - Cascavel, PR – Brasil
adm.parana@gmail.com

Renelson Ribeiro Sampaio

Professor da Faculdade de Tecnologia do SENAI – CIMATEC
Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, 41650-010 - Salvador, BA – Brasil
renelson.sampa@gmail.com

Valter de Senna

Professor da Faculdade de Tecnologia do SENAI – CIMATEC
Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, 41650-010 - Salvador, BA – Brasil
valter.senna@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo principal apresentar um modelo de roteirização de rondas preventivas realizadas por uma Guarda Municipal da Região Metropolitana de Salvador na rede de ensino pública municipal, com base no Problema do Caixeiro Viajante, metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) e na proposta realizada por Sangsawang *et al.* (2005). Como a segurança pública é um serviço municipal prestado pela Guarda Municipal, o descolamento de viaturas nas escolas públicas do município tem como finalidade proteger a sociedade, garantindo a utilização das unidades escolares e prevenindo possíveis crimes. Os gastos com o transporte são fundamentais neste sistema de segurança pública municipal e costumam ser altos. A metodologia AHP pode reduzir a subjetividade dos julgamentos, porém não está isenta de erros subjetivos. Embora a utilização do Problema do Caixeiro Viajante pode exigir grande esforço computacional é possível alcançar reduções de km/ronda e como consequência redução de custos.

PALAVRAS CHAVE. Guarda Municipal, Problema do Caixeiro Viajante, Analytic Hierarchy Process.

Área Principal: ADM - Apoio à Decisão Multicritério.

ABSTRACT

This research aims to present a model of routing preventive patrols conducted by a municipal guard of the Metropolitan Region of Salvador in the city's public school system, based on the Traveling Salesman Problem, methodology Analytic Hierarchy Process (AHP) and the proposal made by Sangsawang et al. (2005). As public safety is a municipal service provided by the Municipal Guard detachment car in public schools in the municipality aims to protect society by ensuring the use of school units and preventing possible crimes. Spending on transportation are key in this city public security system and tends to be high. The AHP methodology can reduce the subjectivity of the judgments, but is not exempt from subjective errors. While use of the TSP may require large computational effort it is possible to achieve km / round and consequently reduce costs reductions.

KEYWORDS. Municipal Guard, Traveling Salesman Problem, Analytic Hierarchy.

Main área: MCDA - Multiple-criteria decision analysis.

1 INTRODUÇÃO

Cury (2008) afirma que a segurança pública é também um serviço municipal prestado pela (GM) Guarda Municipal, atribuição ampliada e interpretada como uma atividade policial preventiva. O descolamento de viaturas (rondas) da GM na rede de escolas públicas do município tem como objetivo principal proteger a sociedade, garantindo a utilização das unidades escolares e prevenindo possíveis ações criminosas. Os gastos com o transporte destes agentes públicos (Guardas Municipais) são fundamentais no sistema de segurança pública municipal. Gurgel (2010) concluiu que os estudos que buscam aperfeiçoar a roteirização na atividade policial podem trazer melhorias amplas para toda a sociedade, reduzindo custos operacionais e diminuindo o tempo de resposta em possíveis emergências.

Além da distância a ser percorrida, existem outros fatores de roteirização subjetivos que influenciam nos custos de deslocamento. Por exemplo, pode ocorrer a redução do consumo de combustível com a redução das distâncias percorridas no deslocamento entre as escolas. Dada uma determinada quantidade de pontos (escolas da rede municipal), como aplicar um modelo de roteirização utilizando um método analítico para realização de rondas preventivas da guarda municipal de uma cidade da (RMS) Região Metropolitana de Salvador, onde todos os pontos sejam visitados a menor distância possível considerando os principais fatores de roteirização existentes?

Esta pesquisa tem como objetivo principal apresentar um modelo de roteirização de rondas preventivas realizadas por uma GM da RMS na rede de ensino pública municipal, com base no (PCV) Problema do Caixeiro Viajante, metodologia (AHP) Analytic Hierarchy Process e na proposta realizada por Sangsawang et al (2005).

2. ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

O método AHP desenvolvido pelo matemático Thomas Lorie Saaty, tem como propósito auxiliar pessoas a tomarem decisões complexas. Gomes, et al (2003) definem que o AHP é um

método de tomada de decisão ótima, onde a melhor escolha considera fatores qualitativos ou quantitativos.

O método AHP é largamente utilizado em problemas de decisão que envolve seleção, evolução, análise de custo benefício, atribuições, planejamento e desenvolvimento, hierarquia de prioridade, tomada de decisão, previsão, medicina e áreas afins, entre outras aplicações (Vaidya e Kumar, 2006).

Para aplicação a metodologia AHP é necessária construir uma árvore hierárquica inversa (figura 1), onde o objetivo da decisão está no topo, em seguida os critérios, subcritérios e as alternativas (Saaty, 1990, 1991).

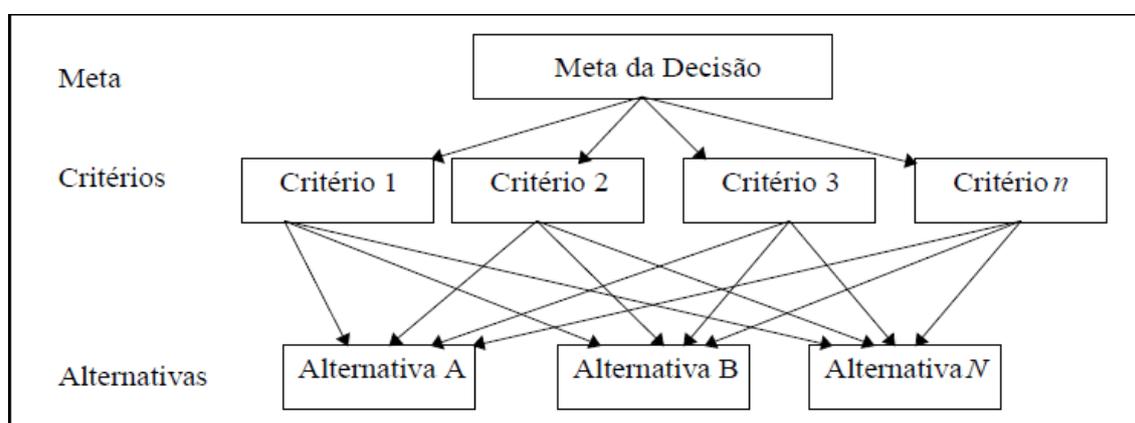


Figura 1 - Estrutura hierárquica inversa de problemas de decisão. Fonte: Adaptado de Saaty (1990, 1991).

Depois da estrutura hierárquica inversa pronta, é necessário avaliar com a comparação dos pares entre os critérios e subcritérios, e assim serão determinados os pesos de cada destes. Os critérios são comparados de acordo com uma escala de julgamentos que pode seguir o modelo do quadro 1 (Saaty, 1990, 1991).

Quadro 1 - Escala de julgamentos.

Pesos	Definição
1	Igual
3	Fraca
5	Forte

7	Um pouco mais do que forte
9	Extrema
2, 4, 6, 8	Intermediários
Recíprocos	Se a atividade tem pesos de 1 a 9 quando comparada com outra atividade, então essa outra atividade tem valor recíproco quando comparado com a primeira atividade.

Fonte: Saaty (1990, 1991).

Os resultados são apresentados na forma matricial:

Figura 2 – Forma matricial no AHP.

$$B = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ \frac{1}{b_{12}} & 1 & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{b_{1n}} & \frac{1}{b_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Fonte: Saaty (1991).

Atendendo as condições:

- a) $b_{ij} = \beta$;
- b) $b_{ji} = 1 / \beta$;
- c) $cb_{ii} = 1$.

Onde, b = comparação entre os critérios e β = pesos. Esta matriz possui simetria em relação à sua diagonal principal: os elementos julgam critérios semelhantes, porém um julgamento é o inverso do outro, $b_{ij} = 1/b_{ji}$. Se o valor $b_{ij} = 2$, i é 2 vezes mais importante j . Se $b_{ji} = 1/2$, j possui um meio da importância de i . O resultado desta matriz é o autovetor de prioridades, que expressa os pesos. Com os pesos e níveis de preferência das alternativas é necessário atribuir valores a cada uma das alternativas, através do método da soma ponderada (Saaty, 1991):

Figura 3 – Valor da alternativa.

$$V(b) = \sum_{j=1}^n p_j v_j(b)$$
$$\text{com } \sum_{j=1}^n p_j = 1 \text{ e } 0 < p_j < 1 \text{ (j= 1, \dots, n),}$$

Fonte: Saaty (1991).

Onde:

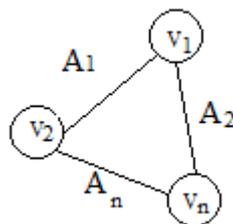
- a) $V(b)$: é o valor da alternativa;
- b) p_j : a importância do critério j ;
- c) v_j : é a preferência da alternativa no critério j .

O método AHP calcula a RC (Razão de Consistência) dos julgamentos, onde $RC = IC/IR$, onde IR (Índice de Consistência Randômico) é obtido em uma matriz recíproca de ordem n , com elementos que não podem ser negativos e gerada aleatoriamente. O IC (Índice de Consistência) é $IC = (b_{\max} - n)/(n-1)$, onde b_{\max} é o maior autovetor da matriz de julgamentos. Os trabalhos de Saaty (1990, 1991) indicam que o ideal seria um $IC \leq 0.1$, porém isto é apenas uma regra geral.

4. PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

O PCV pode ser descrito como um grafo $G = (V, A)$, onde $V = \{1, \dots, n\}$ é o conjunto dos vértices do grafo e $A = \{(i, j) \mid i, j = 1, \dots, n\}$ é um conjunto de arcos ligando esses vértices. Associado a cada arco existe um custo c_{ij} , tal que $c_{ii} = \infty$. O problema consiste na determinação de um caminho hamiltoniano de custo mínimo sobre G . PCV é NP-difícil, ou seja, ainda não existe algoritmo que encontre soluções em tempo polinomial para qualquer entrada (Rodrigues, 2000).

Figura 4 – Grafo no PCV.



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2000).

De acordo com a figura 4, os vértices (V) seriam as unidades escolares que formam a rede pública de ensino de Lauro de Freitas. As rotas ou caminhos seriam representados pelos arcos (A).

5. EXPERT CHOICE

O Expert Choice é um programa de computador que tem como objetivo auxiliar e facilitar a aplicação do método AHP, utilizando recursos computacionais para solucionar problemas reais. Ishizaka e Labib (2009) desenvolveram um estudo onde analisam algumas das vantagens e desvantagens da aplicação do método AHP com o programa de computador Expert Choice:

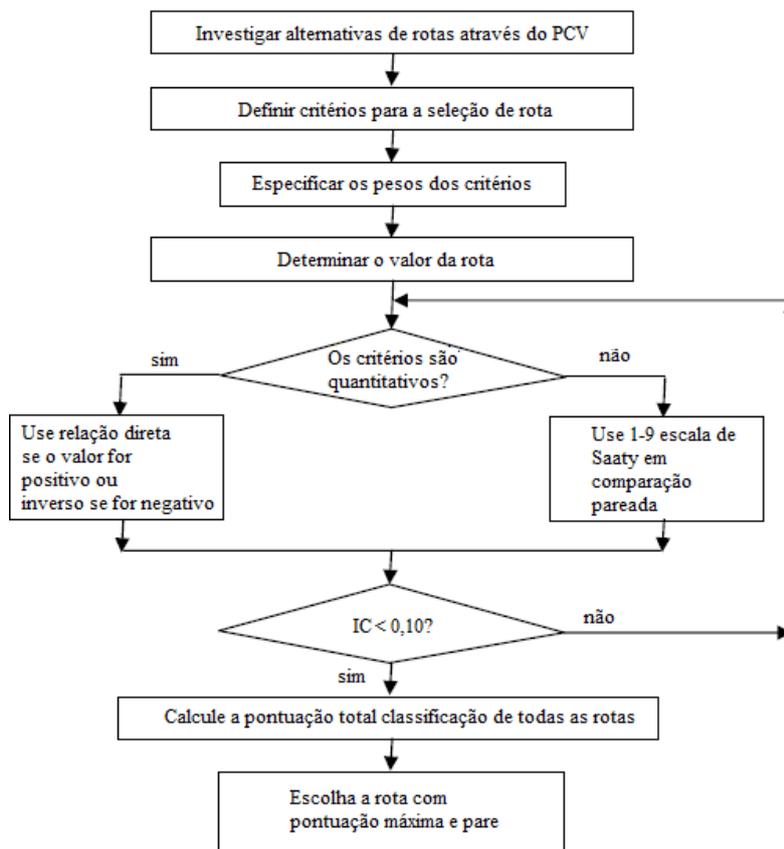
- a) Critérios com um grande número de subcritérios tendem a receber mais peso do que quando são menos detalhados. Ao configurar a hierarquia AHP com um grande número de elementos, estes devem ser organizados em grupos semelhantes.
- b) As comparações são realizadas em uma matriz positiva recíproca, em alguns problemas não é possível trabalhar com essas matrizes (o problema deste estudo pode ser tratado com matriz positiva recíproca), o Expert Choice só trabalha com este tipo de matriz.
- c) O uso de comparações verbais é intuitivamente atraente, amigável e mais comum em nosso cotidiano do que números. Preferências não podem ser representadas com escalas de razão por não existir um zero absoluto em problemas complexos.
- d) Expert Choice utiliza a razão de consistência, relação criticada por permitir decisões contraditórias em matrizes.

O programa de computador Expert Choice é largamente utilizado como ferramenta computacional para aplicação do AHP, porém seu uso requer conhecimento de algumas das vantagens e desvantagens da utilização deste programa como recurso.

6 MODELO DE SANGSAWANG ET AL (2005)

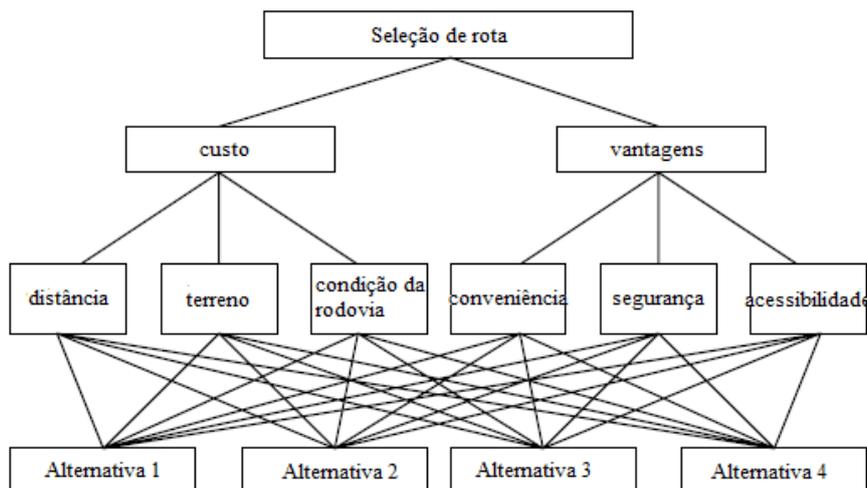
O trabalho desenvolvido por Sangswand et al (2005) tem como objetivo principal determinar a melhor rota para o abastecimento de água, através do algoritmo (sequência de passos) e modelo representado pela figura 5 e 6.

Figura 5 – Algoritmo para seleção de rotas.



Fonte: Adaptado de Sangswand et al (2005).

Figura 6 – Modelo de seleção de rota no AHP.



Fonte: Adaptado de Sangswand et al (2005).

Sangswand et al (2005) propõe identificar as possíveis rotas utilizando o PCV com os possíveis critérios definidos. Determinar os pesos de cada critério, valorando cada rota. Se os critérios forem quantitativos deve-se fazer relação direta com valores positivos e negativos, caso contrário é necessário realizar a comparação pareada do AHP. Se o IC for maior que 0,10 é obrigatório determinar mais uma vez os valores das rotas, no caso oposto todas as rotas devem ser classificadas por intermédio de uma determinada pontuação.

7. MODELO PROPOSTO

As figuras 7 e 8 representam o algoritmo e modelo proposto por esta pesquisa. Primeiro é necessário determinar o maior número de rotas possíveis com as unidades escolares localizadas na cidade estudada por intermédio do Google Maps. Depois é necessário definir os critérios de seleção de rotas e seus respectivos pesos na matriz de comparação relativa (Pairwise Verbal Comparisons no Expert Choice) com o Comando da Guarda Municipal, utilizando o programa Expert Choice 11. A próxima etapa consiste em construir uma planilha com valores normalizados de cada um dos fatores de roteirização e avaliar cada rota em uma escala de Likert (Fraco, Abaixo da média, média, acima da média e excelente). Com um ranking dos pontos obtidos por cada caminho é possível determinar qual a melhor rota. Para obter os pontos utiliza-se a seguinte formulação.

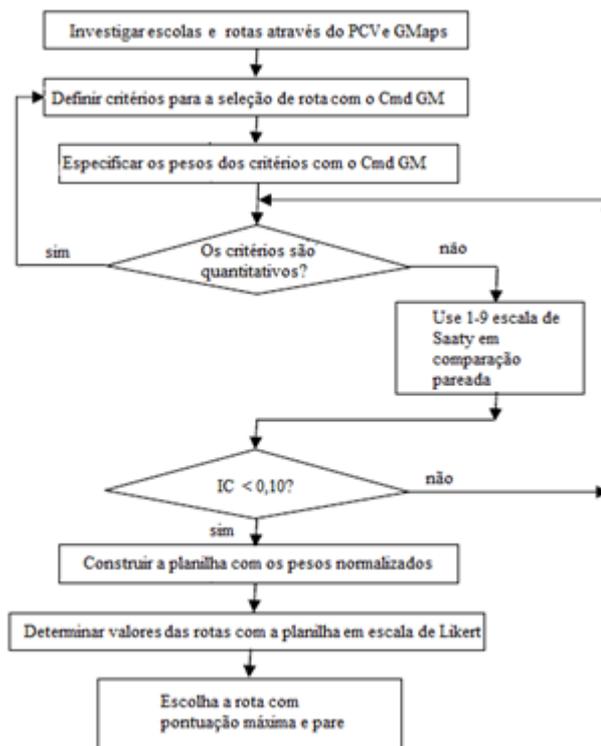
Exemplo 1:

Pontos obtidos = Escala de julgamentos x Peso do fator x Peso da classe.

Pontos obtidos = 0,510 x 0,078 x 0,281.

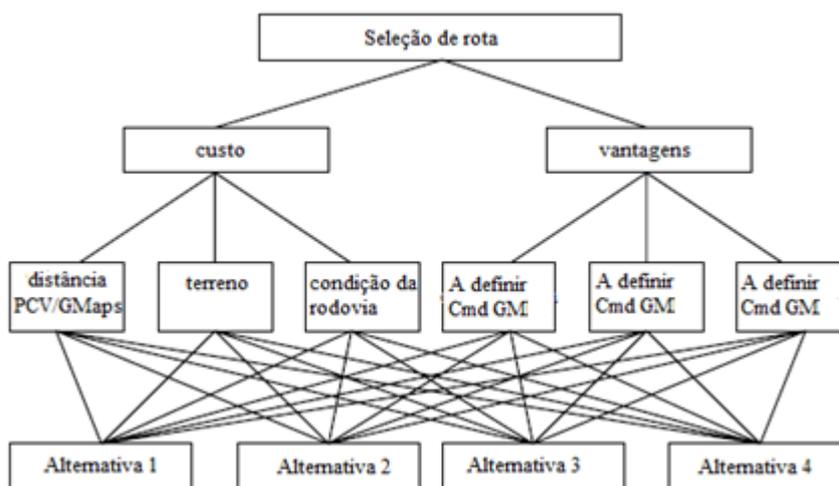
Pontos obtidos = 0,011.

Figura 7 – Algoritmo GM para seleção de rotas.



Fonte: Adaptado de Sangswand et al (2005).

Figura 8 – Modelo GM de seleção de rota no AHP.



Fonte: Adaptado de Sangswand et al (2005).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a metodologia AHP tenha como objetivo reduzir a subjetividade dos julgamentos das pessoas envolvidas em processos decisórios de alta complexidade, não está isenta de erros humanos. Embora a utilização do Problema do Caixeiro Viajante pode exigir grande esforço computacional, seguindo o caminho de Gurgel (2010) que buscou melhorias nas rondas e localização das unidades policiais utilizando o PCV, alcançou redução de 900 km/ronda para 700 km/ronda (minimização de 22%). O modelo proposto por esta pesquisa pode contribuir empiricamente para redução de custos da GM e como consequência para toda a Prefeitura, esta minimização de gastos neste setor pode gerar economia do dinheiro público e fornecer a GM um modelo analítico e aplicação móvel capaz contribuir para minimizar custos no descolamento das viaturas da GM.

9. REFERENCIAL TEÓRICO

CURY, José Eduardo. O papel do gestor público municipal da segurança pública. Revista de Direito. v. 1, n. 14, 2008. Acesso: <http://sare.anhanguera.com/index.php/rdire/article/view/241/239>. Acessado em 20 de fevereiro de 2014.

GOMES, L. F. A. M. GOMES, C. F. S. ALMEIDA, A. T. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. 4. ed. Atlas, S. Paulo, 2012.

GURGEL, André Morais. Melhoria da Segurança Pública: uma proposta para alocação de unidades policiais utilizando o modelo P – Medians e do Caixeiro Viajante. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção. 2010.

ISHIZAKA, Alessio. LABIB, Ashraf. Analytic hierarchy process and expert choice: benefits and limitations. OR Insight, 22 (4). pp. 201-220, 2009.

RODRIGUES, Marco Antonio Pereira. Problema do Caixeiro Viajante. Um Algoritmo para Resolução de Problemas de Grande Porte Baseado em Busca Local Dirigida. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção. 2000.

SANGSAWANG, Sunarin Chanta. Et Al. Application of AHP for Traveling Salesman Problem. Proceedings of the International Conference on Computer and Industrial Management, ICIM, October 29-30, 2005, Bangkok, Thailand. Acesso: <http://www.ijcim.th.org/SpecialEditions/v13nSP2/pdf/p16.1-5-%20Application%20of%20AHP.pdf>. Acessado em 20 de fevereiro de 2014

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, North Holland, v.48, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. São Paulo: Makron Books, 1991.

VAIDYA, O. S. KUMAR, S. S. Analytic hierarchy process: an overview of applications. European Journal of Operational Research, 169, 1-29, 2006.