

PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS APLICADO À CAMPANHA DE VACINAÇÃO EM ESCOLAS: UM ESTUDO DE CASO

Emerson Santos Aguiar

emerson.santosaguiar@gmail.com

Ailson Renan Santos Picanço

ailson.picanco@outlook.com

Adriana Cardoso Roberto

adrianacardososjc@hotmail.com



Este trabalho tem seu foco no problema de vacinação contra o HPV em escolas, com base no problema de roteamento de veículo capacitado. O objetivo da proposta é melhorar a campanha de vacinação com a otimização das rotas das equipes. No modelo desenvolvido, o tempo de serviço nas escolas é relevante, logo precisa ser considerado. Como efeito de simplificação, mas sem perda de informação, o tempo de serviço em uma escola adicionado ao tempo de deslocamento até essa mesma escola. Para resolução da problemática utilizou-se programação linear inteira e uma heurística construtiva. Como resultados, pode-se observar que a heurística construtiva apresentou um resultado pouco inferior (menor que 5%) a solução ótima. Esse resultado decorreu-se devido a natureza dos dados do estudo de caso. Isso pode ser comprovado em alguns testes com valores aleatórios para os dados de entrada. Além disso, alguns testes foram realizados para verificar a capacidade de resolução do software utilizado em

relação à quantidade de variáveis. Como conclusão infere-se que o método proposto apresenta resultados satisfatórios, contudo é limitado a certo número de variáveis.

Palavras-chave: Análise de decisão em saúde, PO na administração pública, HPV

1. Introdução

O HPV (*Human Papiloma Virus*) é reconhecido como causador do câncer do útero e tem sido associado a outros tipos de câncer. Estima-se que há prevalência do HPV em 32,1% em mulheres, variando entre 42,4% nos países emergentes e 22,6% nos países desenvolvidos (VINODHINI et al., 2012). Outra pesquisa aponta que entre nove e dez milhões de pessoas em todo o mundo têm o vírus, com 700 mil novos casos anualmente (OSIS; DUARTE; DE SOUSA, 2014). No Brasil, estudos realizados em mulheres em várias regiões do Brasil mostrou que a prevalência do HPV está entre 14,0% e 54,0 % nas mulheres em geral e de 10,0% a 24,0% em mulheres assintomáticas (AYRES; AZEVEDO E SILVA, 2010).

Um dos principais problemas enfrentados pelo Ministério da Saúde no combate ao HPV é o desconhecimento da população em geral acerca do tema. Em um estudo realizado para analisar o conhecimento de homens e mulheres acerca do HPV, cerca 28,9% dos entrevistados continham informações adequadas e apenas 8,6% tinham ouvido falar das vacinas (OSIS; DUARTE; DE SOUSA, 2014).

O não conhecimento da população em geral restringe a demanda que chega aos postos de saúde para a vacinação contra o HPV. Dessa forma, para atingir as metas de vacinação, algumas prefeituras buscam meios alternativos para abordar a população. Uma dessas maneiras, é fazer a vacinação nas escolas, uma vez que a vacina é destinada a jovens entre 9 e 14 anos. Contudo, ao passo que levar a vacinação as escolas aumenta o número de pessoas imunizadas, aumenta também os custos da operação, principalmente os ligados a frotas de veículos.

A racionalização de recursos é um desafio constante na sociedade contemporânea. Nesse sentido, foram desenvolvidos métodos para otimização de problemas complexos que visam, sobretudo, otimizar a utilização de recursos, seja para maximizar ou minimizar custos, tempo e distâncias.

Um problema de notoriedade da área de programação linear inteira é o Problema de Roteamento de Veículos (PRV) e suas particularidades (DANTIZIG; RAMSER, 1959). O PRV envolve a distribuição de bens ou serviços de um depósito central para clientes finais. Essa distribuição é feita por veículos que partem da origem, passam pelos clientes, satisfazendo suas necessidades, e retornam ao ponto inicial (depósito central). O PRV é um problema clássico da pesquisa operacional e vem sendo desenvolvido há anos (GANSTERER; HARTL, 2018).

O objetivo do problema aqui estudado é a determinação das rotas com custo mínimo para os veículos, sem violar os seus limites de capacidade, logo o problema estudado é um problema de roteamento de veículos capacitado. O Problema de Roteamento de Veículos Capacitado (PRVC) é uma das variações mais difundidas do PRV (LIU et al., 2018). No PRVC as demandas de cada cliente são previamente conhecidas (determinísticas) e devem ser atendidas integralmente por apenas um dos veículos da frota, que são idênticos, de forma que a capacidade da rota não exceda a capacidade do veículo (HELAL et al., 2018).

Nesse sentido, o objetivo central deste artigo é racionalizar a operação de campanhas municipais de vacinação contra o HPV em escolas públicas em um município do estado de São Paulo. Assim, busca-se construir rotas, de modo a aumentar o tempo disponível para vacinação, reduzindo o tempo de saída e retorno dos veículos da unidade básica de saúde (UBS).

Assim, trabalho propõe-se em construir um modelo de PLI e uma heurística adequados ao problema estudado de modo a minimizar o tempo total de operação (vacinar os jovens de 9 a 14 anos das escolas). Além do problema central, é de interesse da pesquisa realizar uma análise de cenários, com variação de parâmetros e construir a parametrização de tempo de operação e transporte de forma integrada.

2. Descrição do problema e formulação matemática

O trabalho de roteamento de veículos utilizados nas escolas em campanhas de vacinação contra o HPV é um dos fatores que determinam o alcance de índices mais altos nas coberturas

vacinais. O estudo foi realizado em um município do estado de São Paulo.

Em campanhas de vacinação anteriores as vacinas eram feitas nas unidades básicas de saúde, porém com baixa adesão da população a ser vacinada, implicando no enfrentamento de pressões sobre a Secretaria de Saúde do município para atingir as metas de vacinação. Mediante a isso, o município resolveu mudar a abordagem levando equipes de vacinação as escolas, onde se encontram grande parte da população a ser vacinada. Diante do aumento do custo das ações, interessa ao município racionalizar o deslocamento de equipes de vacinação, reduzindo o tempo de operações e, conseqüentemente, os custos operacionais.

Para o presente estudo, foi desenvolvido um modelo de PLI e uma Heurística Construtiva Gulosa para a resolução do problema do estudo de caso.

2.1. Programação Linear Inteira

A seguir, apresenta-se a formulação proposta do problema de roteamento de veículos capacitado no contexto da vacinação contra o HPV baseado em Arenales et al. (2015).

O problema de roteamento de veículos pode ser representado por um grafo orientado completo $G = (V, A)$ em que V é o conjunto de nós correspondente aos clientes (escolas) e o depósito (UBS). O conjunto dos arcos A representa os caminhos que ligam as UBSs as escolas. Um custo não negativo c_{ij} e um tempo de viagem t_{ij} estão associados a cada arco (i, j) que representam o custo e o tempo do nó i ao nó j .

Cada escola i tem associado uma demanda não negativa d_i . A demanda $d_0 = 0$ é definida para a UBS. Um conjunto K de veículos idênticos, com cada veículo $k \in K$ com capacidade C , é situado a uma UBS. A capacidade dos veículos em termos de quantidade de doses não foi considerada, uma vez que seria uma restrição inativa.

O objetivo do PRVC é minimizar o custo de viagem definindo uma ou mais rotas para uma frota de veículos que iniciam e terminam no depósito, onde cada cliente seja atendido por uma única vez. A demanda total de uma rota não pode exceder a capacidade tempo de viagem de uma rota não pode exceder o limite D . A capacidade do veículo não é considerada neste

problema, pois a demanda das rotas é muito inferior a essa capacidade.

As variáveis do problema são:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{se o veículo } k \text{ percorrer o arco } (i, j) \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

A função objetivo (2) representa a minimização do custo total das viagens das rotas:

$$\min Z = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \quad (2)$$

O problema está sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{ijk} = 1, \quad i \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{n+1\}} \sum_{j \in N \setminus \{0\}} t_{ij} x_{ijk} \leq D, \quad k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{0jk} = 1, \quad k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{n+1\}} x_{ihk} - \sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{hjk} = 0, \quad h \in V, k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad S \subset C, 2 \leq |S| \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor, k \in K \quad (7)$$

$$x \in B^{K|A|} \quad (8)$$

Onde (3) designa que apenas 1 veículo para cada escola i . A restrição (4) garante que a duração do tempo de viagem da rota não ultrapasse o limite D (neste caso D é o período de trabalho, turno, da equipe). O tempo de trabalho das equipes em períodos de vacinação apresenta duas

etapas, uma na UBS, com o setup (tempo de preparação), e outro de “campo”, com a saída às escolas. Com um tempo total de 6h de trabalho, 1,5h foi separada para o tempo de setup e 6,5h ou 270min, separados para atividade de campo ($D = 270$ min).

As restrições (5) e (6) determinam que cada veículo k que saía da UBS (nó 0) apenas uma vez, deixe o nó h , se, e somente se, tiver entrado neste nó, e retorne a UBS (nó $n+1$) somente uma vez. A restrição (7) garante a não observação de sub-rotas. Finalmente, (8) indica o tipo das variáveis utilizadas, no caso, binárias.

Para o trabalho, foram disponibilizados dados de localização e demanda referentes a 13 escolas e da UBS que as atende (Tabela 1).

Pretende-se aplicar 1108 vacinas nas respectivas escolas dos bairros da região. Dessa forma o escopo da aplicação, em termos de um problema de roteamento de veículos capacitado apresenta uma origem e treze pontos a serem visitados.

Em relação à exigência de imposição ou não de tempo nos destinos, Goldbarg e Luna (2000) indicam duas possibilidades diferentes para a solução de problemas. A primeira possibilidade se caracteriza quando a atividade de entrega é uma atividade rápida comparada aos tempos de roteamento, podendo ser desconsiderada no problema (entrega de jornais, por exemplo). Por outro lado, a atividade de entrega pode exigir tempo suficiente para influenciar a determinação da rota, tendo importância capital para o problema. Arenales et al. (2015), trazem as duas possibilidades para o mesmo patamar, indicando que o tempo de viagem a um ponto qualquer deve incluir o tempo de serviço neste ponto. No presente estudo os tempos nos destinos são relevantes, logo adotou-se a proposição de Arenales et al. (2015) e os valores expressos são referentes ao tempo de deslocamento de i para j somado ao tempo de realização da atividade em j .

Tabela 1 – Entidades analisadas para o estudo de caso

Entidade	Vacinas	Tempo de aplicação (min)
UBS	-	-

SESI Centro Educacional	131	65,50
Zilah Ferreira V.P. de Campos	160	80,00
Crista Batista Regular	49	24,50
Adventista de Ensino Fundamental e Médio	160	80,00
Casemiro de Abreu Colégio	7	3,50
IDEIA - Instituto de Desenvolvimento Educacional "Inovando o Aprendizado"	25	12,50
Ayr. Picanço B. de Almeida	213	106,50
APAE S. J. Campos	9	4,50
Joaquim Andrade Meirelles	52	26,00
Educandário Jesus Eucarístico	29	14,50
Francisco Lopes de Azevedo	39	19,50
Mercedes Klein	199	99,50
Nelson Ferreira da Silva	11	5,50
Centro Pedagógico Casa dos Pandavas	24	12,00

Fonte: Elaborado pelos autores

Considerando 13 escolas e uma UBS (origem) foi construída a matriz de tempo T_{ij} que alimentara o modelo matemático. Ela expressa o tempo necessário para sair da origem (UBS) para as escolas ($i, j = 1, \dots, 13$) e das escolas para as demais escolas, além de considera o tempo de realização da atividade em j . Por exemplo, o tempo T_{01} é constituído pelo tempo de deslocamento da origem para a escola 1 somado ao tempo de realização da tarefa na escola 1, cujo valor é de 71,5 min (Tabela 2).

2.2. Heurística construtiva

Nesta seção é apresentado o algoritmo heurístico proposto para resolver o problema descrito neste trabalho.

2.2.1. Representação da solução

A solução de um problema de roteamento de veículos é representada computacionalmente através de um vetor de números inteiros. Cada escola será por um número de 1 a n e a unidade básica (origem) será representada por 0. Dessa forma, como cada rota precisa

impreterivelmente iniciar e terminar na origem, o valor 0 é utilizado como separador de rotas, assim a sequência de números compreendidos entre dois zeros representa uma rota.

A Figura 2 apresenta uma solução possível do algoritmo proposto com 10 escolas.

Tabela 2 – Matriz de tempos T_{ij} em minutos.

T_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	-	71,5	89,6	34,1	89,6	9,5	20,9	112,5	9,3	29,6	16,9	27,9	104,3	15,1
1	6	-	86	30,5	86	5,9	14,9	113,7	10,5	34,4	21,7	33,9	109,1	10,3
2	9,6	71,5	-	29,3	84,8	8,3	17,3	114,9	10,5	38	24,1	32,7	110,3	10,3
3	9,6	71,5	84,8	-	82,4	7,1	16,1	113,7	10,5	35,6	21,7	33,9	109,1	6,7
4	9,6	71,5	84,8	26,9	-	7,1	16,1	113,7	9,3	35,6	22,9	32,7	109,1	7,9
5	6	67,9	84,8	28,1	83,6	-	13,7	112,5	8,1	34,4	20,5	31,5	107,9	10,3
6	8,4	67,9	84,8	28,1	83,6	4,7	-	112,5	8,1	33,2	20,5	31,5	107,9	10,3
7	6	72,7	88,4	31,7	87,2	9,5	18,5	-	6,9	32	19,3	29,1	105,5	12,7
8	4,8	71,5	86	30,5	84,8	7,1	16,1	108,9	-	30,8	18,1	29,1	104,3	11,5
9	3,6	73,9	92	34,1	89,6	11,9	19,7	112,5	9,3	-	18,1	30,3	104,3	16,3
10	2,4	72,7	89,6	31,7	88,4	9,5	18,5	111,3	8,1	29,6	-	27,9	103,1	13,9
11	8,4	79,9	93,2	38,9	93,2	15,5	24,5	116,1	14,1	36,8	22,9	-	106,7	19,9
12	4,8	75,1	90,8	34,1	89,6	11,9	20,9	112,5	9,3	30,8	18,1	26,7	-	15,1
13	9,6	70,3	84,8	25,7	82,4	8,3	17,3	113,7	10,5	36,8	22,9	33,9	109,1	-

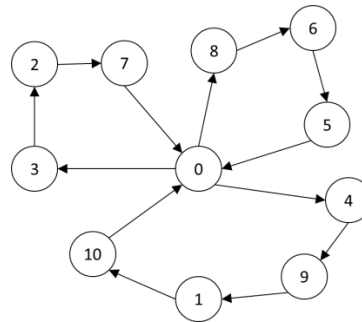
Fonte: Elaborado pelos autores

O algoritmo propôs 3 rotas para esta Figura 1 que seria representada tal como apresentado a seguir.

Solução: 0 – 4 – 9 – 1 – 10 – 0 – 8 – 6 – 5 – 0 – 3 – 2 – 7 – 0

Nessa solução a rota [0 – 4 – 9 – 1 – 10 – 0] significa que uma equipe de vacinação sai da unidade básica (0) e visita as escolas 4, 9, 1 e 10, nesta ordem, e depois volta a unidade básica. O raciocínio é análogo para as demais rotas: [0 – 8 – 6 – 5 – 0] e [0 – 3 – 2 – 7 – 0].

Figura 1 - Exemplo de solução do algoritmo proposto



Fonte: Elaborado pelos autores

2.2.2. Solução inicial

Para gerar a solução inicial, foi utilizada uma heurística construtiva que inseria rota a rota de acordo com menor custo (menor tempo) disponível. A lógica a seguir é utilizada para a solução inicial.

- a) PASSO 1: Parta da origem.
- b) PASSO 2: Encontre a escola mais próxima da origem que não tenha sido visitada.
- c) PASSO 3: Encontre a escola não visitada mais próxima da escola em que está e vá para ela SE o tempo de voltar dela para a origem não ultrapassar a capacidade de tempo. Caso contrário, vá para a origem.
- d) PASSO 4: Se não existir mais escolas a serem visitadas apresente o resultado e pare. Caso contrário volte ao PASSO 1.

2.2.3. Estrutura de vizinhança

Para explorar o espaço de soluções do problema e tentar encontrar melhores ótimos locais, é proposto 2 tipos de movimentos, Movimento *Shift* e Movimento Permutação.

O movimento *Shift* consiste em transferir uma quantidade de escolas de uma rota para outra.

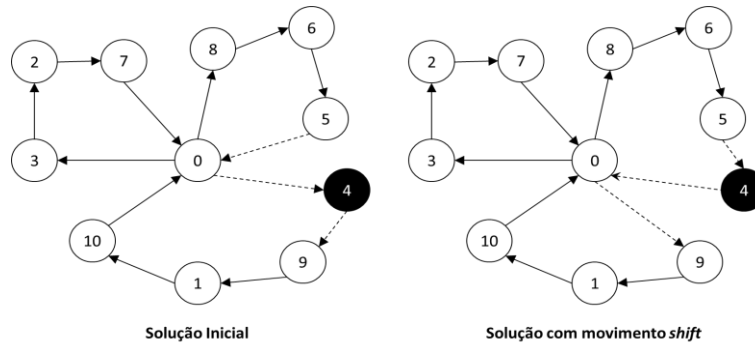
A Figura 3 ilustra um exemplo em que uma escola é transferida de uma rota para outra.

A representação do movimento *shift* na solução do problema é dada da seguinte forma:

Solução: 0 - 4 - 9 - 1 - 10 - 0 - 8 - 6 - 5 - 0 - 3 - 2 - 7 - 0

Solução_(movimento shift): 0 - 9 - 1 - 10 - 0 - 8 - 6 - 5 - 4 - 0 - 3 - 2 - 7 - 0

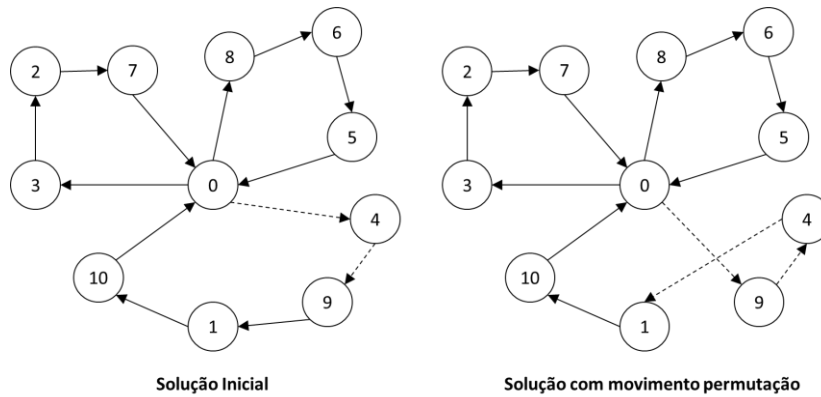
Figura 2 - Exemplo de movimento *shift*



Fonte: Elaborado pelos autores

O movimento permutação por sua vez, consiste em mudar a ordem das escolas dentro de uma mesma rota. A Figura 4 ilustra um exemplo com a mudança de posição de uma escola.

Figura 3 - Exemplo de movimento permutação



Fonte: Elaborado pelos autores

A representação do movimento *shift* na solução do problema é dada da seguinte forma:

Solução: 0 – 4 – 9 – 1 – 10 – 0 – 8 – 6 – 5 – 0 – 3 – 2 – 7 – 0

Solução_(permutação): 0 – 9 – 4 – 1 – 10 – 0 – 8 – 6 – 5 – 0 – 3 – 2 – 7 – 0

Neste trabalho não será explorada os movimentos de estrutura de vizinhança, ficando a solução heurística condicionada a solução inicial.

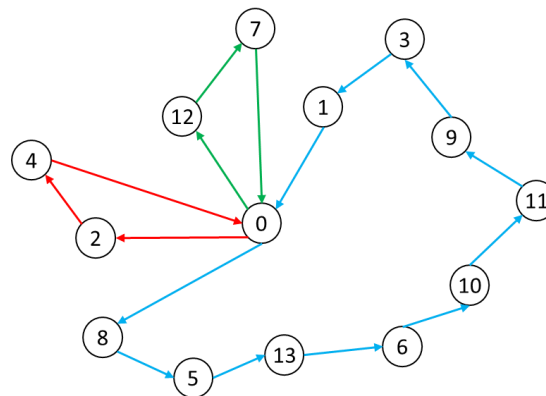
3. Resultados e discussões

Através dos dados apresentados na Tabela 2, a heurística construtiva apresentou a seguinte solução:

$S_{hg}: 0 - 8 - 5 - 13 - 6 - 10 - 11 - 9 - 3 - 1 - 0 - 2 - 4 - 0 - 12 - 7 - 0$

A solução da heurística construtiva também pode ser verificada na Figura 5.

Figura 4 - Representação ilustrativa da solução heurística



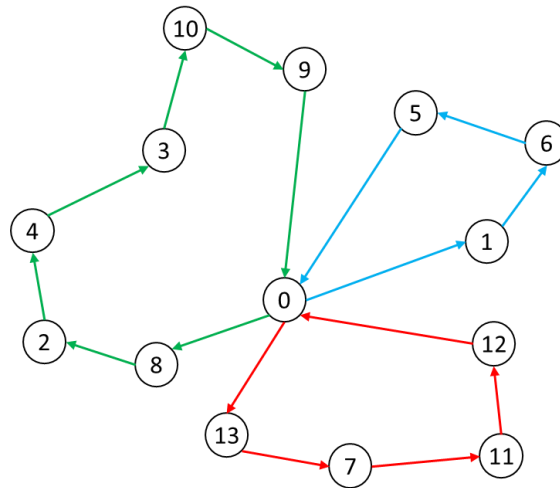
Fonte: Elaborado pelos autores

O tempo total de deslocamento foi de 652,4min. Sabe-se que são necessários três veículos, que corresponde a três equipes de trabalho (ou dias de trabalho em caso de equipe única) para realizar a vacinação em todas as escolas. Nesse sentido, é importante apurar o tempo residual de trabalho em $k = 3$. Para a heurística esse tempo residual foi de 227,6 min, no veículo de menor tempo. E a taxa de utilização para $k=1$ e 2 foi de 89,2% e 68,1%.

Além disso, o problema foi solucionado por meio do modelo de programação linear inteira, cujo resultado ótimo, 628,4 minutos, é apresentado a seguir e de forma ilustrativa na Figura 6.

$S_{ótima}: 0 - 1 - 6 - 5 - 0 - 13 - 7 - 11 - 12 - 0 - 8 - 2 - 4 - 3 - 10 - 9 - 0$

Figura 5 - Representação ilustrativa da solução ótima



Fonte: Elaborado pelos autores

A duração da atividade no veículo de menor tempo, por sua vez foi de apenas 97,1 minutos e a taxa de utilização nos outros dois foram de 99,8% e 97%. O que demonstra uma atividade mais compacta com tempo menor.

Foi realizado um cenário diferente, aumentando a capacidade em 1h, passando de 270min para 330min. Se obteve o seguinte resultado:

S_{ótima_mod}: 0 – 5 – 3 – 13 – 4 – 2 – 1 – 6 – 8 – 10 – 0 – 12 – 11 – 7 – 9 – 0

Neste cenário, o tempo total de operação foi de 609,2 min. Com uma taxa de utilização de 98,93% e 85,67%.

Devido à natureza dos dados, onde o tempo de realização das atividades impacta muito mais que o tempo de deslocamento de um ponto a outro, o tempo total da heurística se mostrou satisfatório, com 654,2 minutos, apenas 24 minutos a mais que o tempo ótimo.

Parte-se da hipótese, que isto só foi possível devido à natureza dos dados do estudo de caso. Para verificar essa hipótese, um teste, com dados aleatórios, T_{ij} em minutos (Tabela 4), foi realizado para o modelo guloso e comparado com o resultado da solução ótima para os mesmos dados aleatórios.

Tabela 3 – Matriz T_{ij} de dados aleatórios

T_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	1000	32,3	90,9	67,8	88,9	57,9	45,5	48,0	51,5	53,5	108,8	52,7	56,1	88,8
1	92,2	1000	44,1	30,3	83,1	38,3	42,4	57,0	23,0	70,0	33,0	58,1	18,9	33,3
2	96,5	81,4	1000	36,4	32,0	119,8	102,5	71,9	60,4	55,6	85,9	17,5	67,7	102,1
3	59,8	42,3	60,2	1000	56,5	71,5	72,2	49,1	109,6	117,8	50,0	87,3	42,3	88,9
4	54,2	16,3	75,4	62,6	1000	101,1	27,3	65,3	104,0	14,1	88,4	18,4	86,8	92,5
5	63,0	86,2	75,7	66,9	86,3	1000	59,4	66,5	55,4	62,9	102,5	56,3	24,0	40,1
6	63,7	78,1	29,1	70,7	80,6	98,6	1000	87,1	58,4	66,8	71,6	52,2	56,7	99,5
7	93,9	27,1	69,4	40,3	74,7	106,3	60,8	1000	109,3	71,6	76,0	71,8	91,1	88,6
8	107,1	53,4	72,8	58,8	52,1	62,8	51,6	29,1	1000	78,9	82,9	41,2	56,0	106,6
9	67,2	59,1	44,0	70,0	82,6	98,7	90,4	114,8	76,9	1000	98,3	45,5	96,0	28,3
10	71,5	50,1	54,5	64,8	75,2	65,6	85,7	57,2	27,4	77,9	1000	29,0	67,8	31,1
11	31,5	37,4	95,1	55,5	104,8	35,3	91,9	40,4	44,9	69,0	50,3	1000	91,0	62,2
12	49,3	37,9	114,5	32,4	73,3	37,1	48,9	106,2	69,1	65,7	47,3	41,9	1000	77,8
13	86,2	24,3	94,1	28,3	59,4	61,5	29,9	17,3	69,7	92,5	66,1	59,5	46,7	1000

Fonte: Elaborado pelos autores

Os dados gerados, desconsiderando a diagonal principal, formada por $M=1000$, apresenta uma média de 64,72 minutos; desvio padrão de 24,94; máximo de 119,79 minutos e mínimo de 14,07 minutos. A Tabela 4 apresenta a solução de forma ótima e heurística.

Tabela 4 - Resultados heurístico e ótimo para o problema com dados aleatórios

Solução		$Z^*(\min)$	k	
Heurística	$i, j = \{0,1,\dots,13\}$	0-1-12-3-7-6-0-8-11-5-13-0-9-2-4-0-10-0	875,8	4
Ótima	$i, j = \{0,1,\dots,13\}$	0-8-7-3-4-9-11-0-5-6-2-12-0-1-10-13-0	714,7	3

Fonte: Elaborado pelos autores

Com base nos resultados, percebe-se que a solução obtida pela heurística não apresenta um resultado bom, se comparado com a solução ótima para os dados gerados aleatoriamente. Uma vez que a solução é 161,1 minutos maior que a solução ótima e utiliza um veículo a mais, o que ratifica a hipótese de que, a solução heurística só tende a apresentar bons resultados quando a natureza dos dados é favorável, isto é, quando o tempo de deslocamento impacta muito menos que o tempo de realização da atividade.

O *software* utilizado foi testado, para verificar a sua capacidade de resolver o problema

aumentando suas dimensões (Tabela 6).

Conforme esperado, para problemas do tipo NP-difícil, a complexidade do problema aumenta em nível operacional, o que dificulta a solução de problemas muito grandes. Verificou-se que o solver conseguiu resolver problemas pequenos rapidamente, como o do caso real com apenas 588 variáveis, 13 pontos (mais a origem) e 3 veículos, em 8,4 segundos.

Tabela 5 - Capacidade de resolução de problemas do algoritmo no software utilizado

Instância	Capacidade (min)	N pontos	Dados	K veículos	Variáveis	Tempo de processamento (seg)
Caso	270	13	Reais	3	588	8,7
Teste 1	270	13	Aleatórios	3	588	9,1
Teste 2	270	15	Aleatórios	4	1024	15,8
Teste 3	220	15	Aleatórios	5	1280	18,3
Teste 4	270	20	Aleatórios	5	2205	120,4
Teste 5	220	20	Aleatórios	7	3087	240,7
Teste 6	270	25	Aleatórios	10	6760	Não processado

Fonte: Elaborado pelos autores

O número de variáveis cresce rapidamente, assim como o tempo de processamento. Isso pode ser verificado aumentando em poucos pontos e veículos, como por exemplo, com 20 pontos e 7 veículos, que gera um problema de 3087 variáveis e um tempo de processamento de 240,7 segundos. Ressalta-se ainda que, ao aumentar para 25 pontos e 10 veículos, gerando 3760 variáveis, o solver não conseguiu resolver o problema, por limitações do software.

4. Conclusão

O problema clássico de roteamento de veículos capacitado mostrou-se eficiente para a construção de rotas para o programa de vacinação em escolas. O resultado ótimo para o problema foi obtido por meio de um solver com rota [0 – 1 – 6 – 5 – 0 – 13 – 7 – 11 – 12 – 0 – 8 – 2 – 4 – 3 – 10 – 9 – 0], com atividade total desenvolvida em 628,4 minutos por três veículos. Ressalta-se que cada veículo representa uma equipe de trabalho, onde, de acordo com as restrições logísticas e o planejamento da UBS para o programa de vacinação, pode realizar a atividade em mais ou menos tempo. O aumento da capacidade em 1h permite como

principal benefício a redução no número de veículos necessários. Além disso o tempo total de operação passa de 628,4min para 609,2min.

Destaca-se a utilização do software *OpenSolver*, que apresentou resultado satisfatório, frente aos softwares comerciais de solução de problemas de programação linear. Este, mostrou-se eficiente na resolução de problemas pequenos (menos de 3000 variáveis e restrições), mas competitivo frente a softwares comerciais, que apresentam uma limitação ainda maior (até 200 variáveis e 200 restrições).

Em termos de modelagem, destaca-se a simplificação do modelo com a aglutinação dos tempos de deslocamento e realização da tarefa em um único parâmetro T_{ij} . Dessa forma, o problema foi solucionado por meio da modelagem clássica do problema de roteamento de veículos capacitado. Outra particularidade do problema foi a abordagem dessa restrição de capacidade, que está ligada ao tempo total disponível para realizar a tarefa em um dia de trabalho, por equipe (veículo k). A capacidade em termos de quantidade de doses não foi considerada, uma vez que seria uma restrição inativa.

Finalmente, recomenda-se a utilização de heurísticas e meta-heurísticas para resolver problemas dessa natureza com dimensões maiores. A pesquisa, conforme amplamente difundido na literatura, corrobora da impossibilidade atual de resolução por métodos exatos de problemas NP-difícil, em termos de tempo computacional.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**, Editora Elsevier, São Paulo, 2015.
- AYRES, A. R. G.; AZEVEDO E SILVA, G. Cervical HPV infection in Brazil: Systematic review. **Revista de Saude Publica**, v. 44, n. 5, p. 963–974, 2010.

DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The Truck Dispatching Problem. **Management Science**, 6(1), 80–91, 1959.

GANSTERER, M.; HARTL, R. F. Collaborative vehicle routing: A survey. **European Journal of Operational Research**, v. 268, n. 1, p. 1–12, 2018.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear**, Editora Campus, Rio de Janeiro, 2000.

HELAL, N. et al. The capacitated vehicle routing problem with evidential demands. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 95, p. 124–151, 2018.

LIU, T. et al. A branch-and-cut algorithm for the two-echelon capacitated vehicle routing problem with grouping constraints. **European Journal of Operational Research**, v. 266, n. 2, p. 487–497, 2018.

OSIS, M. J. D.; DUARTE, G. A.; DE SOUSA, M. H. SUS users' knowledge of and attitude to HPV virus and vaccines available in Brazil. **Revista de Saude Publica**, v. 48, n. 1, p. 123–133, 2014.

VINODHINI, K. et al. Prevalence and risk factors of HPV infection among women from various provinces of the world. **Archives of Gynecology and Obstetrics**, v. 285, n. 3, p. 771–777, 2012.