

Análise e modelagem do problema de planejamento do transporte e da manutenção de bombas de infusão hospitalares

Tatiana Balbi Fraga

Centro Acadêmico do Agreste / Universidade Federal de Pernambuco

 0000-0003-1476-0847

tatianabf_8@hotmail.com

Lays Cristiane Cavalcante de Alcântara Aguiar

Centro Acadêmico do Agreste / Universidade Federal de Pernambuco

 0000-0002-6227-3587

lays.cristianeal@gmail.com

Regilda da Costa e Silva Menêzes

Centro Acadêmico do Agreste / Universidade Federal de Pernambuco

 0000-0001-9838-381X

regildamenezes@yahoo.com.br

Marcos Luiz Henrique

Centro Acadêmico do Agreste / Universidade Federal de Pernambuco

 0000-0001-6377-5602

profmclh@hotmail.com

Resumo. Neste trabalho é considerado um problema de planejamento do transporte e do serviço de manutenção de bombas de infusão hospitalares. Para solução do problema abordado é proposto um modelo matemático que é validado através do software LINGO. Os resultados demonstram que a modelagem proposta em conjunto com o solver desenvolvido em linguagem LINGO são ferramentas importantes e perfeitamente adequadas para o correto tratamento do problema estudado.

Palavras chave: Otimização combinatória; Problema de alocação e de transporte; Setor hospitalar; Manutenção de equipamentos; Bombas de infusão hospitalares.

1. INTRODUÇÃO

As bombas de infusão são equipamentos que fornecem fluidos, contendo nutrientes e medicamentos, em quantidades controladas, ao corpo dos pacientes. Esses equipamentos têm a capacidade de fornecer fluidos em volumes muito pequenos, em taxas precisamente programadas e com intervalos automatizados. Por essa razão são imprescindíveis para os hospitais. Conforme alertado pela organização FDA (2018), as bombas de infusão são frequentemente utilizadas para a administração de fluidos críticos, tais como

medicamentos de alto risco, e, portanto, falhas nas bombas podem ter implicações significativas para a segurança dos pacientes. A organização afirma que a maioria das bombas são equipadas com recursos de segurança, contudo o artigo citado aponta para diversos eventos que resultaram em lesões e até mesmo em mortes dos pacientes. Assim, dado a importância relacionada à disponibilidade e ao bom funcionamento das bombas de infusão para os hospitais, geralmente, os fabricantes destes equipamentos oferecem, na venda de seus produtos, serviços de manutenção preventiva. Conforme informado por Onifade (2003) *apud* Mwanza e Mbohwa (2015), através da manutenção preventiva é possível manter o equipamento em boas condições de trabalho, aumentando a confiabilidade e disponibilidade, e reduzindo a taxa de falhas. É importante ainda ressaltar que, conforme mencionado por Mwanza e Mbohwa (2015), práticas de manutenção eficazes e apropriadas em equipamentos hospitalares são essenciais, pois contribuem para melhorar a eficiência no setor da saúde, resultando em melhores resultados de saúde, e um serviço de saúde mais sustentável.

O presente trabalho trata-se de um estudo realizado em uma empresa localizada no estado de Pernambuco que vende bombas de infusão hospitalares para diversos hospitais localizados na região do Agreste e do Sertão do estado e também é responsável pela manutenção preventiva oferecida pela marca comercializada. Esse estudo foi motivado pela identificação de descontentamento por parte de diversos hospitais relativo ao tempo de indisponibilidade das bombas acarretado pela demora do serviço de manutenção oferecido pela empresa. Com base nessa observação, foi realizada uma análise do processo de manutenção da empresa, buscando identificar os problemas responsáveis pelo atraso. Tal problemática foi então tratada como um problema de otimização combinatória, mais precisamente como um problema de alocação e de roteirização. A literatura apresenta alguns importantes trabalhos que tratam de problemas similares. Como exemplo, podemos citar o artigo de Rashidnejad *et al.* (2018), no qual os autores propõem um modelo matemático biobjetivo e um método meta-heurístico multi-objetivo, denominado Algoritmo Genético de Ordenação Não Dominada II (NSGA-II), para solução de um problema de planejamento da manutenção de equipamentos distribuídos geograficamente, considerando também a questão do roteamento. Contudo, devido à natureza peculiar do problema identificado, não foi encontrada na literatura consultada nenhuma pesquisa relacionada ao caso específico estudado. Portanto, para tratamento deste, no presente trabalho foi proposto um modelo de programação inteira não-linear e, para solução do modelo elaborado, foi desenvolvido um *solver* em linguagem LINGO. O

solver desenvolvido foi testado através de *benchmarks* elaborados pelos autores deste artigo, apresentando resultados animadores. As próximas seções apresentam uma descrição do processo de manutenção da empresa (seção 2), a delimitação e modelagem do problema identificado (seção 3) e alguns resultados preliminares encontrados pelo *solver* desenvolvido (seção 4). A seção 5 apresenta algumas conclusões relevantes e aponta para alguns trabalhos futuros.

2. SOBRE O SERVIÇO DE REVISÃO DE BOMBAS DE INFUSÃO HOSPITALARES

Geralmente, tendo em vista a importância desses equipamentos, cada hospital possui um conjunto de bombas de infusão e, para que os equipamentos funcionem corretamente, é imprescindível que estes passem por manutenções preventivas periódicas, normalmente dentro de intervalos de 365 dias. Devido ao elevado número de hospitais e equipamentos atendidos, a empresa estudada apresenta sérias dificuldades em definir o melhor momento para revisão de cada equipamento, levando em conta as necessidades específicas de revisão dos equipamentos, os prazos limites estipulados entre as revisões, a capacidade da empresa e os custos envolvidos. O serviço de manutenção realizado pela empresa para as bombas de infusão hospitalares pode ser representado conforme fluxograma (Fig. 1) e detalhamento apresentados a seguir.

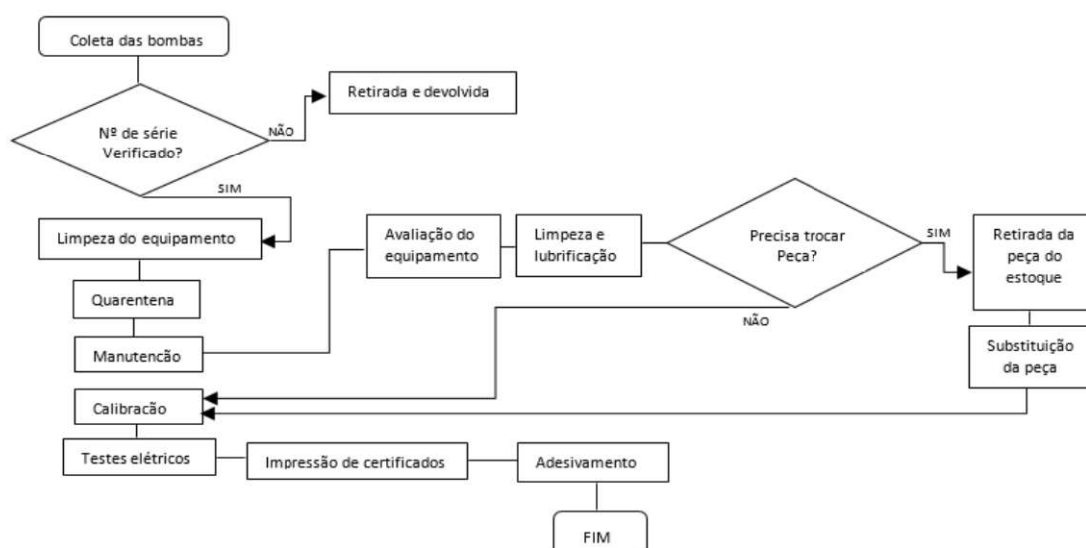


Figura 1. Processo de manutenção de bombas de infusão hospitalares.

O serviço de manutenção das bombas começa com a coleta das bombas nos hospitais. As bombas são coletadas de acordo com as necessidades de calibração de cada hospital. Normalmente, a coleta é realizada por ordem de proximidade. Ou seja, dentre os hospitais que solicitam o serviço de revisão, são escolhidos para coleta das bombas aqueles que estão mais próximos da empresa. A limitação da quantidade de bombas coletadas é definida pela capacidade máxima de transporte do veículo. Durante a coleta das bombas e ainda nos próprios hospitais são anotados todos os números de especificação das bombas.

Em seguida, é realizada a limpeza do equipamento. Nessa etapa, o equipamento é encaminhado para sala de higienização, onde deverá ser limpo utilizando produtos como álcool isopropílico, clorexidina, detergente neutro, removedor de cola para tirar as etiquetas e até mesmo álcool comum.

Após a limpeza, as bombas são enxaguadas com água limpa e só podem seguir o processo após o prazo de um dia, ou seja, quando o equipamento já estiver seco. Caso haja urgência, é permitida a realização da secagem com um secador de ar quente. Em ambos os casos é necessário passar pano limpo umedecido com solução alcoólica para desinfecção no final da secagem. Caso o equipamento apresente vazamento interno, o mesmo deverá também ser aberto e limpo.

Após a higienização, o equipamento deverá seguir para a quarentena com etiquetas sinalizando que o equipamento está limpo e higienizado. A etiqueta também deve sinalizar a respectiva data de entrada na quarentena. Na quarentena, os equipamentos aguardam no mínimo 24 horas antes de seguir para a próxima etapa.

Depois que o equipamento é limpo e higienizado, este deverá ser levado para a bancada técnica para que seja realizada a manutenção. Para tanto são realizados testes de funcionamento da bomba, através dos quais se verifica o funcionamento de displays, microcontrolador, leds e se o motor está operando, sensores, carregador de bateria, detecção de rede elétrica/bateria e acesso ao menu *Setup* para fazer as alterações necessárias.

Após avaliação, o equipamento é aberto, limpo internamente e é corrigido o que foi detectado na avaliação. Também é realizada uma lubrificação nas engrenagens do motor.

Caso seja necessário trocar alguma peça, o técnico terá que buscar no sistema através do código da peça para verificar se a mesma está disponível em seu estoque. A assistência possui um estoque fornecido pela empresa de todas as peças de cada equipamento. As peças que normalmente tendem a ter mais defeitos, em números maiores. As peças que

são retiradas dos equipamentos são adicionadas a um segundo estoque chamado de devolução, as peças que não tem mais concerto são devolvidas para a fábrica para que seja realizada uma reciclagem e recuperação mais intensiva.

Após substituição, realiza-se teste de funcionamento no equipamento para concluir a troca da peça.

Em seguida, é realizada a calibração. A verificação da vazão pode ser realizada por meio da medição do volume ou massa em um intervalo de tempo conhecido ou então usando um analisador de bomba de infusão. O método utilizado é a verificação volumétrica.

Após conclusão da manutenção e calibração, é necessário imprimir certificado para cada bomba. No certificado precisa conter: número de identificação da bomba; o resultado da sua calibração (vazão ml/h) informando volume e tempo; os resultados dos testes elétricos; e as condições ambientais do local.

Finalmente, após conclusão do serviço e emissão do certificado, o responsável deve preencher a etiqueta de calibração com data de calibração e assinatura do responsável técnico e fixar no equipamento em local de fácil visibilidade. O objetivo dessa etiqueta é o de manter a rastreabilidade do serviço. Também é fixado adesivo de lacre e adesivo informando que o equipamento foi limpo e higienizado.

3. LIMITAÇÃO DO PROBLEMA TRATADO E MODELAGEM MATEMÁTICA

Através de uma análise detalhada do problema, foi possível identificar que existe uma grande preocupação com o processo de manutenção e que a principal problemática está relacionada mais especificamente à falta de programação adequada dos períodos em que o transporte das bombas e as manutenções devem ser realizados. Portanto, para modelagem matemática, o problema tratado foi restrito ao planejamento do período de realização dos serviços de coleta, manutenção e devolução das bombas de infusão hospitalares para os distintos hospitais. Para tal determinação levou-se em conta o prazo para realização da manutenção, e as restrições de capacidade da empresa e dos veículos de transporte. Com base nestas considerações o problema foi modelado, conforme apresentado a seguir.

Identificação das variáveis de decisão

Dado um conjunto de bombas de infusão que precisam ser revisadas dentro de um intervalo conhecido (horizonte de planejamento), o problema abordado consiste em decidir o dia em que os elementos desse conjunto deverão: ser coletados; ter seus processos de revisão iniciados e ser devolvidos. Também será necessário decidir qual veículo será responsável pela coleta e pela devolução das diversas bombas e as rotas percorridas pelos veículos. Assim, tem-se para o problema tratado as variáveis de decisão definidas na Tab. 1, a seguir:

Tabela 1. Variáveis de decisão do modelo matemático elaborado para o problema de planejamento do transporte e da manutenção de bombas de infusão hospitalares

Variável	Descrição
NPM_{hd}	Número de bombas do hospital h cuja manutenção deve ser iniciada no dia d
NPC_{hkd}	Número de bombas coletadas do hospital h , no dia d , e pelo veículo k
NPR_{hkd}	Número de bombas retornadas para o hospital h , no dia d , e pelo veículo k
t_{rskd}	Variável binária que recebe valor 1 para o caso no qual o veículo k , percorre o trecho de rota (r, s) no dia d , e valor 0 para o caso em que este trecho de rota não é percorrido por este veículo neste dia

Identificação dos parâmetros do modelo

Na Tab. 2, a seguir, são definidos os parâmetros do modelo.

Tabela 2. Parâmetros do modelo matemático elaborado para o problema de planejamento do transporte e da manutenção de bombas de infusão hospitalares

Parâmetro	Descrição
ND	Número de dias considerados no horizonte de planejamento
NH	Número de hospitais

NK	Número de veículos
RSC_{rsk}	Custo que ocorre para a empresa cada vez que o carro k percorre a seção de rota (r, s)
DUC_h	Custo diário de indisponibilidade de cada bomba para o hospital h
NP_h	Número de bombas de infusão do hospital h que devem ser mantidas dentro do horizonte de planejamento considerado.
M_d	Capacidade diária de manutenção da empresa (para início do processo)
C_k	Capacidade de carga do veículo k

É importante também observar que o tempo de transporte das bombas em cada viagem será sempre de 1 dia.

Construção da função objetivo

O objetivo da empresa consiste em minimizar os custos envolvidos. Tendo em vista que o custo de manutenção dos equipamentos não varia em função das variáveis definidas, deve-se considerar no modelo apenas os custos de transporte ou, mais precisamente, os custos de roteamento. Contudo, como pretende-se também minimizar o incômodo para os hospitais gerado pela indisponibilidade dos equipamentos, deve-se também considerar um termo no cálculo do custo relativo a essa indisponibilidade. Assim, como função objetivo, tem-se:

$$\min TC = RC + UC \quad (1)$$

onde RC representa o custo total de roteamento,

$$RC = \sum_{r=0}^{NH} \sum_{s=0}^{NH} \sum_{k=1}^{NK} \sum_{d=1}^{ND} RSC_{rsk} \times t_{rskd} \quad (2)$$

e UC o custo total de indisponibilidade,

$$UC = \sum_{h=1}^{NH} DUC_h \sum_{d=1}^{ND} NUP_{hd} \quad (3)$$

sendo que NUP_{hd} representa o número total de bombas indisponíveis para o hospital h no dia d

$$NUP_{h1} = \sum_{k=1}^{NK} NPC_{hk1} \quad \text{para } h = 1, \dots, NH \quad (4)$$

$$\begin{aligned} NUP_{hd} &= NUP_{h(d-1)} + \sum_{k=1}^{NK} (NPC_{hkd} - NPR_{hkd}) \quad \text{para } h \\ &= 1, \dots, NH, \quad d = 2, \dots, ND \end{aligned} \quad (5)$$

$$NUP_{hd} \geq 0 \quad \text{para } h = 1, \dots, NH, \quad d = 2, \dots, ND \quad (6)$$

Identificação das restrições

Para identificação das restrições, o problema foi compreendido como um problema que trata simultaneamente da alocação, do roteamento e do transporte dos equipamentos.

Com relação à alocação, é importante assegurar que todas as bombas devem ser recolhidas, mantidas e depois retornadas, portanto tem-se:

$$\sum_{k=1}^{NK} \sum_{d=1}^{ND} NPC_{hkd} = NP_h \quad \text{para } h = 1, \dots, NH \quad (7)$$

$$\sum_{d=2}^{ND-LT-1} NPM_{hd} = NP_h \quad \text{para } h = 1, \dots, NH \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^{NK} \sum_{d=1}^{ND} NPR_{hkd} = NP_h \quad \text{para } h = 1, \dots, NH \quad (9)$$

Adicionalmente, a capacidade diária de manutenção da empresa deve ser respeitada, de forma que:

$$\sum_{h=1}^{NH} NPM_{hd} \leq M_d \quad \text{para } d = 2, \dots, (ND - LT - 1) \quad (10)$$

Também é importante garantir que o planejamento da manutenção e do retorno das bombas leve em conta a disponibilidade destas para serem manutenidas e retornadas, respectivamente, assim:

$$NPM_{hd} - NPAM_{hd} \leq 0 \quad \text{para } h = 1, \dots, NH, \quad d = 1, \dots, ND \quad (11)$$

sendo $NPAM_{hd}$ o número de bombas do hospital h disponíveis para manutenção no dia d

$$NPAM_{hd} = 0 \quad \text{para } h = 1, \dots, NH, \quad d = 1, (ND - LT), \dots, ND \quad (12)$$

$$NPAM_{h2} = \sum_{k=1}^{NK} NPC_{hk1} \quad \text{para } h = 1, \dots, NH \quad (13)$$

$$\begin{aligned} NPAM_{hd} &= NPAM_{h(d-1)} - NPM_{h(d-1)} + \sum_{k=1}^{NK} NPC_{hk(d-1)} \quad \text{para } h \\ &= 1, \dots, NH, \quad d = 3, \dots, (ND - LT - 1) \end{aligned} \quad (14)$$

e

$$\sum_{k=1}^{NK} NPR_{hkd} - NPAR_{hd} \leq 0 \quad \text{para } h = 1, \dots, NH, \quad d = 1, \dots, ND \quad (15)$$

sendo $NPAR_{hd}$ o número de bombas do hospital h disponíveis para devolução no dia d

$$NPAR_{hd} = 0 \quad \text{para } h = 1, \dots, NH, \quad d = 1, \dots, (1 + LT) \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
NPAR_{hd} &= NPAR_{h(d-1)} + NPM_{h(d-LT)} - \sum_{k=1}^{NK} NPR_{hk(d-1)} \quad \text{para } h \\
&= 1, \dots, NH, \quad d = (2 + LT), \dots, ND
\end{aligned} \tag{17}$$

Com relação ao roteamento, o problema observado trata-se de fato de problemas diários, onde em cada dia considera-se um problema do caixeiro viajante com múltiplas rotas (ver Bektas, 2006). Assim, tal problema pode ser definido de acordo com as restrições apresentadas a seguir:

$$\sum_{r=0}^{NH} t_{rhkd} \leq 1 \quad \text{para } h = 0, \dots, NH, \quad k = 1, \dots, NK, \quad d = 1, \dots, ND \tag{18}$$

$$\sum_{s=0}^{NH} t_{hskd} \leq 1 \quad \text{para } h = 0, \dots, NH, \quad k = 1, \dots, NK, \quad d = 1, \dots, ND \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{r=0}^{NH} t_{rhkd} - \sum_{s=0}^{NH} t_{hskd} &= 0 \quad \text{para } h = 0, \dots, NH, \quad k = 1, \dots, NK, \quad d \\
&= 1, \dots, ND
\end{aligned} \tag{20}$$

$$\begin{aligned}
u_r - u_s + (NH + 1)t_{rskd} &\leq NH \quad \text{para } r = 0, \dots, NH, \quad s = 0, \dots, NH, \quad k \\
&= 1, \dots, NK, \quad d = 1, \dots, ND
\end{aligned} \tag{21}$$

Outra consideração importante está em garantir que os veículos responsáveis pela coleta/devolução das bombas visitem em suas respectivas rotas os hospitais para os quais as bombas serão coletadas/devolvidas. Dessa forma, temos:

$$\begin{aligned}
\left(1 - \sum_{r=0(r \neq h)}^{NH} t_{rhkd}\right) NPC_{hkd} &= 0 \quad \text{para } h = 1, \dots, NH, \quad k \\
&= 1, \dots, NK, \quad d = 1, \dots, ND
\end{aligned} \tag{22}$$

$$\left(1 - \sum_{r=0(r \neq h)}^{NH} t_{r h k d}\right) NPR_{h k d} = 0 \quad \text{para } h = 1, \dots, NH, \quad k = 1, \dots, NK, \quad d = 1, \dots, ND \quad (23)$$

Com relação ao transporte, deve-se considerar que os veículos saem da empresa com as bombas que serão retornadas aos hospitais em cada viagem. Ademais, durante o percurso, os veículos estarão entregando as bombas aos hospitais e coletando outras bombas. Por tanto, é necessário garantir que as capacidades de carga dos veículos sejam respeitadas em cada trecho. Assim, temos:

$$a_{k d} \leq C_k \quad \text{para } k = 1, \dots, NK, \quad d = 1, \dots, ND \quad (24)$$

$$a_{h s k d} \leq C_k \quad \text{para } h = 1, \dots, NH, \quad s = 0, \dots, NH, \quad k = 1, \dots, NK, \quad d = 1, \dots, ND \quad (25)$$

onde $a_{k d}$ representa a carga inicial do veículo k no dia d ,

$$a_{k d} = \sum_{h=1}^{NH} NPR_{h k d} \quad \text{para } k = 1, \dots, NK, \quad d = 1, \dots, ND \quad (26)$$

e $a_{h s k d}$ representa o número de bombas transportadas pelo veículo k , no trecho de rota (h, s) , e no dia d ,

$$a_{h s k d} = t_{h s k d} \times \left(a_{k d} \times t_{0 h k d} + \sum_{r=1}^{NH} (a_{r h k d} \times t_{r h k d}) + NPC_{h k d} - NPR_{h k d} \right) \quad \text{para } h = 1, \dots, NH, \quad s = 0, \dots, NH, \quad k = 1, \dots, NK, \quad d = 1, \dots, ND \quad (27)$$

Finalmente, devemos garantir que as naturezas das diversas variáveis de decisão sejam respeitadas. Assim, tem-se:

$$NPM_{hd} \geq 0 \text{ e inteiros para } h = 1, \dots, NH, d = 1, \dots, ND \quad (28)$$

$$NPC_{hkd}, NPR_{hkd} \geq 0 \text{ e inteiros para } h = 1, \dots, NH, k = 1, \dots, NK, d = 1, \dots, ND \quad (29)$$

$$t_{rskd} \in \{0,1\} \text{ para } r = 0, \dots, NH, s = 0, \dots, NH, k = 1, \dots, NK, d = 1, \dots, ND \quad (30)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme já mencionado, para validação do modelo apresentado na seção anterior foi desenvolvido um *solver* em linguagem LINGO. Este *solver* foi testado através dos seguintes problemas teste:

Problema 1:

$$\begin{aligned} ND = 6; NH = 2; NK = 2; M_d = 3 \forall d; LT = 1; C_k = 2 \forall k; NP_1 = 3; NP_2 \\ = 2; DUC_1 = \$ 1; DUC_2 = \$ 2; RSC_{011} = \$ 2; RSC_{021} \\ = \$ 1; RSC_{101} = \$ 2; RSC_{121} = \$ 1; RSC_{201} = \$ 2; RSC_{211} \\ = \$ 1; RSC_{012} = \$ 2; RSC_{022} = \$ 2; RSC_{102} = \$ 1; RSC_{122} \\ = \$ 2; RSC_{202} = \$ 2; RSC_{212} = \$ 1. \end{aligned}$$

Problema 2:

$$\begin{aligned} ND = 6; NH = 2; NK = 2; M_d = 3 \forall d; LT = 1; C_1 = 3; C_2 = 2; NP_1 \\ = 3; NP_2 = 2; DUC_1 = \$ 1; DUC_2 = \$ 2; RSC_{011} = \$ 2; RSC_{021} \\ = \$ 1; RSC_{101} = \$ 2; RSC_{121} = \$ 1; RSC_{201} = \$ 2; RSC_{211} \\ = \$ 1; RSC_{012} = \$ 2; RSC_{022} = \$ 2; RSC_{102} = \$ 1; RSC_{122} \\ = \$ 2; RSC_{202} = \$ 2; RSC_{212} = \$ 1. \end{aligned}$$

Problema 3:

$$\begin{aligned}
 ND &= 6; NH = 2; NK = 2; M_d = 3 \quad \forall d; LT = 1; C_1 = 3; C_2 = 4; NP_1 \\
 &= 3; NP_2 = 2; DUC_1 = \$ 1; DUC_2 = \$ 2; RSC_{011} = \$ 2; RSC_{021} \\
 &= \$ 1; RSC_{101} = \$ 2; RSC_{121} = \$ 1; RSC_{201} = \$ 2; RSC_{211} \\
 &= \$ 1; RSC_{012} = \$ 2; RSC_{022} = \$ 2; RSC_{102} = \$ 1; RSC_{122} \\
 &= \$ 2; RSC_{202} = \$ 2; RSC_{212} = \$ 1.
 \end{aligned}$$

Para teste do *solver* foi utilizado o *software* LINGO (com licença completa disponibilizada pela LINDO Systems para realização deste trabalho) no modo Global Solver, e foram encontradas as seguintes soluções:

Solução encontrada¹ – Problema 1:

$$\begin{aligned}
 TC &= \$ 39; RC = \$ 18; UC = \$ 21; NPC_{211} = 2; t_{0211} = t_{2011} = 1; NPC_{121} \\
 &= 1; t_{0121} = t_{1021} = 1; NPM_{12} = 1; NPM_{22} \\
 &= 2; NPC_{123} = 2; t_{0123} = t_{1023} = 1; NPR_{214} = 2; t_{0214} = t_{2014} \\
 &= 1; NPR_{124} = 1; t_{0124} = t_{1024} = 1; NPM_{14} = 2; NPR_{126} \\
 &= 2; t_{0126} = t_{1026} = 1.
 \end{aligned}$$

Solução encontrada¹ – Problema 2:

$$\begin{aligned}
 TC &= \$ 35; RC = \$ 14; UC = \$ 21; NPC_{211} = 2; t_{0211} = t_{2011} = 1; NPM_{22} \\
 &= 2; NPC_{113} = 3; t_{0213} = t_{2113} = t_{1013} = 1; NPM_{14} = 3; NPR_{214} \\
 &= 2; t_{0214} = t_{2014} = 1; NPR_{116} = 3; t_{0216} = t_{2116} = t_{1016} = 1.
 \end{aligned}$$

Solução encontrada¹ – Problema 3:

$$\begin{aligned}
 TC &= \$ 33; RC = \$ 12; UC = \$ 21; NPC_{211} = 2; t_{0211} = t_{2011} = 1; NPM_{22} \\
 &= 2; NPC_{123} = 3; t_{0123} = t_{1023} = 1; NPM_{14} = 3; NPR_{214} \\
 &= 2; t_{0214} = t_{2014} = 1; NPR_{126} = 3; t_{0126} = t_{1026} = 1.
 \end{aligned}$$

Através de uma breve análise é possível verificar que a solução apresentada para o Problema 1 é ótima, tendo em vista que os custos totais de roteamento e de indisponibilidade são os menores possíveis. No Problema 2, a capacidade do veículo 1 é aumentada (equiparada à capacidade de manutenção diária da empresa), e a solução

¹ Todas as variáveis cujos valores não foram informados têm valor 0 na solução apresentada.

proposta pelo LINGO se adequa a essa nova informação, como uma nova solução ótima e com menor custo total de roteamento. Um fato interessante que pode ser observado é que, na solução encontrada para o Problema 2, nas rotas apresentadas para o veículo 1 nos dias 3 e 6, o veículo passa pelo hospital 1, antes de chegar ao hospital 2, mesmo não havendo nenhuma bomba para ser entregue ou recolhida neste hospital. Isso ocorre porque o custo deste trajeto se iguala ao custo de ir diretamente da empresa para o hospital 2. Essa questão poderia ser melhor trabalhada, inserindo na função custo um termo de penalidade relacionado ao tempo de viagem. Dessa forma, para soluções empatadas (com mesmo CT), seria escolhido o trajeto de menor tempo. No Problema 3, a capacidade do veículo 2 é também aumentada, tornando-se superior à capacidade diária de manutenção da empresa. Nesse caso o custo de transporte é novamente reduzido tendo em vista que visitar o hospital 1 utilizando o veículo 2 é mais vantajoso. Contudo, conforme esperado, o veículo 2 transporta 3 bombas (e não 4, conforme seu limite de capacidade). Isso porque o aumento do número de bombas transportadas pelo veículo 2 iria gerar um aumento do custo total de indisponibilidade, piorando, portanto, a solução encontrada.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

No presente trabalho foi abordado o problema de planejamento do transporte e da manutenção de bombas de infusão hospitalares. Para tratamento do problema foi proposto um modelo matemático, o qual foi validado pela aplicação de *solver* desenvolvido especificamente para sua solução em linguagem LINGO. Os resultados foram motivadores. O modelo e o *solver* foram testados através de problemas teste e foram realizadas algumas análises de sensibilidade para o problema. Os resultados demonstraram que o modelo e o *solver* propostos são capazes de encontrar soluções ótimas e robustas para o problema estudado com baixo custo computacional sendo, portanto, importantes ferramentas para tratamento desse problema. Como trabalho futuro espera-se aplicar essas ferramentas em problemas com dimensões reais, analisando a eficiência na solução de problemas do dia a dia da empresa estudada.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos enormemente à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e

Tecnológico) pelo apoio financeiro fornecido aos nossos projetos. Também agradecemos à LINDO Systems pela licença do *software* LINGO, sem a qual este trabalho não teria sido possível, e à empresa participante deste projeto, por ter nos fornecido informações tão ricas e tão relevantes. Finalmente, agradecemos à PROExC (Pró-reitoria de Extensão e Cultura da UFPE), pelo apoio e reconhecimento de nosso trabalho, e ao querido Prof. Antônio José da Silva Neto, que contribuiu de forma significativa para a formação de competências imprescindíveis ao desenvolvimento de nossos projetos.

7. REFERÊNCIAS

- Bektas, T., 2006. The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega*, vol. 34, pp. 209–219.
- FDA Organization, 2018. Infusion Pumps. 1 Jun. 2019 <<https://www.fda.gov/medical-devices/general-hospital-devices-and-supplies/infusion-pumps>>.
- Mwanza, B. G., Mbohwa, C., 2015. An assessment of the effectiveness of equipment maintenance practices in public hospitals. *Procedia Manufacturing*, vol. 4, pp. 307 – 314.
- Onifade, K., 2003. Informatics in Hospital Management. Unpublished M.Sc. report; Department of Business Administration, University of Lagos, Lagos, 2003.
- Rashidnejad, M., Ebrahimnejad, S., Safari, J., 2018. A bi-objective model of preventive maintenance planning in distributed systems considering vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 120, pp. 360-381.