



08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## MODELAGEM MATEMÁTICA E SOLUÇÃO EXATA DO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ESCALAS MÉDICAS

**Marcelo Lisboa Rocha**<sup>1</sup> – mlisboa@uft.edu.br  
**David Nadler Prata**<sup>1</sup> – ddnprata@uft.edu.br  
**Antônio J. da Silva Neto**<sup>2</sup> – ajsneto@iprj.uerj.br

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins – Palmas, TO, Brasil

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brasil

**Resumo.** *Este trabalho visou o desenvolvimento de um modelo matemático vantajoso para o atendimento das necessidades da atividade de criação de escalas de trabalho no setor de saúde pública, auxiliando tanto na elaboração da escala em si, quanto na gestão dos quadros profissionais pela compilação de informações gerenciais que auxiliem na tomada de decisão do gestor, diminuindo sobremaneira a dificuldade na administração, tendo em vista a grande quantidade de variáveis que atingem os serviços de saúde. Como contribuição, neste trabalho foi desenvolvido um modelo computacional e resolvido por método exato para o problema de alocação e gerenciamento de pessoal na área de saúde pública, servindo como auxílio no desenvolvimento de softwares no setor de saúde pública.*

**Palavras Chave:** *Modelo Matemático, Alocação de Escalas Médicas, Método Exato.*

### 1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que a administração pública tem dificuldade em organizar seu quadro de profissionais e devido ao tamanho de seus recursos humanos deve se preocupar fundamentalmente na gestão deste, otimizando-o de forma a torná-lo eficiente e seguro, e para tanto torna-se necessária a utilização de sistema de processamento de dados para facilitar esta tarefa.

Segundo Marin (2010) os Sistemas de Informação em Saúde (SIS) devem desempenhar as atribuições de coleta, processamento, armazenamento e distribuição das informações de forma inter-relacionada, com o objetivo de nortear o processo de tomada de decisão e auxiliar no controle das organizações de saúde, sustentando o aperfeiçoamento, o planejamento e o processo decisório dos seus múltiplos profissionais. A sociedade em busca de seus direitos, procura um posicionamento do Poder Público quanto ao efetivo fornecimento da assistência à saúde em níveis de qualidade e permanência adequados, com isso tornando legítima a tomada de ações de

política pública que gerem eficiência no atendimento a este direito. É perceptível que grande parte das organizações encontram dificuldades na elaboração das escalas de trabalho dos seus profissionais. No âmbito do setor público podemos perceber que esta dificuldade é mais acentuada devido à grande quantidade de profissionais envolvidos, necessitando, portanto, realizar esta tarefa de maneira ágil, eficaz e eficiente, pois a inábil utilização de recursos humanos, também torna explícita a má utilização dos escassos recursos financeiros e orçamentários deste setor.

Neste cenário, o uso de Sistemas de Informação que utilizem otimização combinatória, proporciona a elaboração de escalas de forma mais descomplicada, além de trazer maior segurança ao processo, pois exclui grande parte dos fatores subjetivos na elaboração das mesmas, gerando não somente a ideia de exatidão nos feitos, mas excluindo hipóteses referentes ao relacionamento interpessoal dos agentes responsáveis pela gestão, criando assim a ideia de imparcialidade na execução desta tarefa. Segundo Beddoe (2004) grande parte das formulações matemáticas relativas aos problemas de pessoal em que os trabalhos se realizam em turnos são considerados problemas de complexidade NP-Difícil, pois demanda um tempo muito grande para uma aproximação de uma resolução aceitável do problema.

Neste contexto, justifica-se a realização do presente estudo, que visou o desenvolvimento de um modelo matemático vantajoso para o atendimento das necessidades da atividade de criação de escalas de trabalho no setor de saúde pública, auxiliando tanto na elaboração da escala em si, quanto na gestão dos quadros profissionais pela compilação de informações gerenciais que auxiliem na tomada de decisão do gestor, diminuindo sobremaneira a dificuldade na administração, tendo em vista a grande quantidade de variáveis que atingem os serviços de saúde.

Como contribuição, neste trabalho foi desenvolvida uma ferramenta computacional de resolução de problemas de alocação e gerenciamento de pessoal na área de saúde, mais especificamente na determinação da escala de plantões médicos. Esse trabalho pode servir também como auxílio no desenvolvimento de softwares no setor de saúde pública, bem como fonte de pesquisa para acadêmicos que tenham interesse no assunto, tendo em vista, a escassez de estudos sobre o tema no Brasil.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Nesta seção são apresentados os principais conceitos relacionados ao problema de alocação de escalas de trabalho, em especial de escalas de trabalho médico.

### **2.1 Escalas de Trabalho**

Em 1943 com a reforma trabalhista, houve a aprovação da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), regulando tais relações e legalmente instituindo as modalidades de jornadas de trabalho. As escalas de revezamento foram contempladas no parágrafo único do art. 67 da CLT. Organizar de forma estratégica os recursos humanos é fundamental para o ganho de produtividade e diminuição dos custos com mão de obra. Além de melhorar a qualidade de vida do empregado, pois a saúde e o bem-estar do trabalhador repercutem na sua produtividade.

De acordo com um estudo realizado por Souza et al. (2011), executado em um hospital público de ensino do Município de São Paulo, a elaboração de uma escala de trabalho é uma atividade bastante complexa, que envolve uma série de ações articuladas como o reconhecimento do quadro de funcionários, cargas horárias, licenças médicas, turnos e limitações de produtividade de cada funcionário, bem como levantamento dos dados relacionados às especificidades de cada setor, que leva em consideração a capacidade de atendimento do setor e a complexidade da assistência ali prestada. Um ponto importante destacado por Fakhri, Tanaka e Carmagnani (2012), a ser levado em consideração na elaboração de escalas de trabalho, é o

absenteísmo, pois além de sobrecarregar os trabalhadores que estão presentes, afeta a produção, o custo operacional e a eficiência dos serviços prestados. Em estudo realizado no pronto-socorro de um hospital universitário do município de São Paulo, revelou-se que as causas do absenteísmo podem estar relacionados à falta de organização, e à política institucional inadequada, dentre outros. Como solução, os autores propõem mudanças na política de gestão de pessoal e nos processos de trabalho para aumentar a satisfação e o compromisso com a instituição.

## 2.2 Custos na Saúde Pública

Na definição de Nascimento (2001), custo é a soma de todos os valores incorporados pelo consumo ou utilização de bens e serviços, com a finalidade de produzir um novo bem ou serviço. Na visão de Matos (2002), a apuração de resultados através da contabilização de custos para as instituições de saúde, assume especial relevância na gestão de seus recursos, bem como para a realização do planejamento organizacional, controle e tomada de decisões.

Para Brasil (2013), o setor de saúde exige, quer seja por sua complexidade, quer seja por sua representatividade, a apresentação um modelo de gestão de custos sólido que gere resultados, com a finalidade de subsidiar políticas públicas consistentes e voltadas para resultados. Brasil (2013) acrescenta que a ausência de qualidade e de informações gerenciais básicas são aspectos que prejudicam a formulação de condutas que visem a correção de vulnerabilidades apresentadas pelo sistema de saúde brasileiro. Situação esta que é agravada pela ausência de autonomia e comprometimento dos gestores hospitalares; a passividade e diluição do financiamento que atualmente é realizado de maneira desarticulada com a qualidade dos serviços prestados; as distorções entre valores pagos por procedimento e seus custos reais; investimentos que não levam em consideração o ganho de escala; dentre outros motivos, torna clara a necessidade de informações que subsidiem decisões e modificações nas políticas públicas, com a finalidade de gerar a otimização dos recursos para o atendimento da população.

## 2.3 Trabalhos Relacionados

Berrada, Ferland e Michelon (1996) implementaram um modelo de programação multiobjetivo para representar um problema de escalonamento de enfermeiras, com o intuito de aumentar a satisfação dos funcionários com as escalas, o qual deve obedecer restrições classificadas como rígidas ou flexíveis, utilizando método de Busca Tabu.

Bellanti et al. (2004) propõem uma abordagem de busca local fornecendo soluções parciais que posteriormente são completadas por meio de um algoritmo guloso para evitar a geração de vizinhos inviáveis, utilizando restrições rígidas para resolver o problema das escalas de enfermagem da unidade de terapia intensiva de um hospital em Turim, Itália. Borba (2010) propôs a aplicação de um modelo de otimização combinatória para solucionar o problema de escalonamento de equipes de saúde pública. O objetivo do modelo proposto por Borba é a otimização da alocação dos recursos humanos disponíveis atendendo às restrições rígidas e flexíveis impostas pelo problema. Para solucionar o problema foi utilizada metaheurística Iterated Local Search (ILS), associada com busca local para obter um resultado satisfatório, com baixo custo computacional e tempo hábil.

Um estudo de problema análogo ao de escalonamento de trabalhadores foi realizado por Paranhos (2012), o qual utiliza metaheurísticas para resolver o problema de sequenciamento de cirurgias eletivas que é similar ao problema de programação de máquinas paralelas. Foi utilizado o conceito de modos para diferenciar os tipos de cirurgias realizadas e a metodologia adotada foi a aplicação das metaheurísticas GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure), ILS (Iterated Local Search), VNS (Variable Neighborhood Search) e IGS (Iterated Greedy Search) além de busca local utilizando o Método Randômico de Descida para a sua solução.

### 3. MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO PARA O PROBLEMA

Este trabalho tem como objetivo, apresentar um modelo matemático e uma solução exata por programação matemática para resolver o Problema de Alocação das escalas médicas.

A Secretaria Estadual da Saúde do Tocantins (SESAU-TO) possui um sistema de gerenciamento de escalas implementado na linguagem de programação PHP e os dados são armazenados em banco de dados SQL Server, que permite apenas o lançamento dos plantões.

Ao observar as rotinas atuais de lançamento de escalas, percebe-se que em média um coordenador de equipe gasta 14 horas mensais na atividade elaboração e lançamento de escalas. Em conformidade com a Portaria 937/12 (TOCANTINS, 2012) os médicos podem cumprir quatro padrões de horários, sendo esses horários representados neste trabalho pelas siglas P1, P2, P3, P4 e descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Padrões de Horário

| Sigla | Duração  | Início   | Fim      |
|-------|----------|----------|----------|
| P1    | 12 horas | 07:00:00 | 19:00:00 |
| P2    | 12 horas | 19:00:00 | 07:00:00 |
| P3    | 24 horas | 07:00:00 | 07:00:00 |
| P3    | 24 horas | 19:00:00 | 19:00:00 |

Os turnos são divididos em três: matutino, vespertino e noturno, com suas respectivas durações, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Turnos de Trabalho

| Turno      | Duração  | Início   | Fim      |
|------------|----------|----------|----------|
| Matutino   | 6 horas  | 07:00:00 | 13:00:00 |
| Vespertino | 6 horas  | 13:00:00 | 19:00:00 |
| Noturno    | 12 horas | 19:00:00 | 07:00:00 |

Cada setor demanda uma quantidade mínima de profissionais atendendo em cada turno para garantir o funcionamento adequado. Nos testes realizados neste trabalho foram escolhidos valores múltiplos de doze por terem a menor duração dentre os padrões de plantões permitidos. Conforme o vínculo de trabalho, existe uma carga horária preestabelecida para cada servidor. No levantamento realizado foram identificadas três diferentes cargas horárias mensais de médicos servidores da SESAU-TO, 90 horas, 180 horas e 270 horas. Porém, conforme disposto na Portaria 937/12 (TOCANTINS, 2012), são considerados para o efetivo exercício do labor os seguintes quantitativos de horas mensais respectivamente: 72 horas, 144 horas e 216 horas. O modelo respeita a quantidade de horas disciplinadas por esta portaria.

O período de afastamento de cada colaborador deve ser abatido proporcionalmente da carga horária mensal exigida, levando em consideração a quantidade de dias do mês de referência, não devendo ser lançados plantões para os dias em afastamento. Afastamento é o período em que o colaborador está impedido de comparecer ao trabalho. Alguns motivos de afastamentos são: licença médica, férias, licença maternidade, atestado médico e etc.

O modelo concebido neste trabalho receberá como parâmetro a carga horária mensal de cada servidor com os devidos descontos decorrentes dos afastamentos. Deve também respeitar o período de descanso entre jornadas de trabalho. A instituição analisada neste trabalho, segue o que preconiza a CLT em seu artigo 66, que impõe ao trabalhador 11 horas de descanso entre jornadas de trabalho. No caso em estudo, os médicos podem fazer até 24 horas ininterruptas de trabalho. Porém, após esse período, devem descansar por no mínimo 11 horas. Na modelagem proposta, também devem ser contempladas de forma flexível as preferências de datas e horários sugeridos pelos trabalhadores.

O fluxograma da Fig. 1 apresenta como ficam as etapas para a elaboração das escalas médicas com a modelagem matemática.

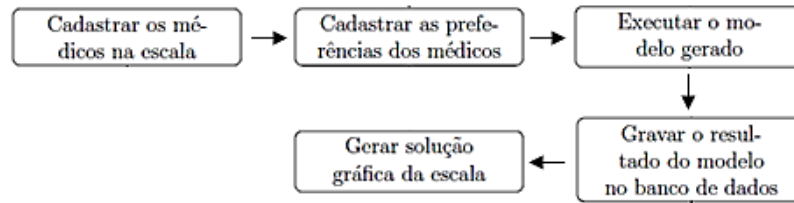


Figura 1 - Fluxograma mostrando os passos para a elaboração de escalas.

### 3.1 Modelo Matemático

Nesta seção, é apresentado o modelo matemático proposto para o escalonamento dos profissionais médicos. O modelo proposto visa otimizar o capital humano para a solução ótima, levando em consideração as restrições rígidas exigidas pela instituição e acolher, quando possível, as preferências de datas e horários dos funcionários. Foi utilizada a técnica de Programação Linear Inteira Binária (PLIB) para a formulação do modelo matemático.

#### 3.1.1 Função Objetivo

A função objetivo para o problema proposto busca minimizar a quantidade de horas de trabalho dos médicos para atender a demanda do setor ao qual o modelo está sendo aplicado e atender ao máximo às restrições flexíveis relacionadas às preferências de dias e horários: vide Eq. (1).

#### 3.1.2 Parâmetros de Entrada e Variáveis de Decisão

Para a construção do modelo matemático, deve-se considerar os seguintes parâmetros de entrada e variável de decisão do problema:

- $d$ : representa o dia do mês em que o plantão será realizado.
- $i$ : representa a identificação da medição que realizará o plantão.
- $p$ : representa os padrões de horários a serem seguidos:
  - (p1)=plantão das 7 horas às 19 horas (matutino e vespertino) com duração de 12 horas.
  - (p2)=plantão das 19 horas às 7 horas (noturno) com duração de 12 horas.
  - (p3)=plantão das 7 horas às 7 horas (matutino, vespertino e noturno) com duração de 24 horas.
  - (p4)=plantão das 19 horas às 19 horas (noturno, matutino e vespertino) com duração de 24 horas.
- $CH_i$ : representa a quantidade de horas a serem cumpridas pelo profissional médico  $i$  durante o mês.
- $M_{ipd}$ : variável binária que representa se o Médico  $i$  seguirá (1) ou não (0) o padrão de horário  $p$  no dia do mês  $d$ .
- $CP$ : representa a quantidade de horas a serem cumpridas pelo profissional médico no plantão com padrão  $p$ .
- $CH_m$ ,  $CH_v$  e  $CH_n$ : representam as quantidades de horas mínimas exigida para o turno matutino, vespertino e noturno respectivamente.

#### 3.1.3 Descrição das Restrições

O problema proposto tem uma série de restrições impostas por lei, pelo modelo operacional da instituição ou pelas preferências dos profissionais. Foram levadas em consideração as seguintes restrições rígidas:

i) A restrição de choque de horários visa impedir que um mesmo médico tenha plantões lançados no mesmo horário sobrepondo um ao outro de forma total ou parcial:

- No dia  $d$  só pode ter uma ou nenhuma ocorrência dos padrões de horário  $p_1$ ,  $p_3$  e  $p_4$  para um mesmo médico  $i$ : vide Eq. (2)
- No dia  $d$  só pode ter uma ou nenhuma ocorrência dos padrões de horário  $p_2$ ,  $p_3$  e  $p_4$  para um mesmo médico  $i$ : vide Eq. (3)
- No dia  $d$  só pode ter uma ou nenhuma ocorrência dos padrões de horário  $p_3$  e  $p_4$  para um mesmo médico  $i$ : vide Eq. (4)
- Quando no dia  $d$  tiver um padrão de horário  $p_4$ , no dia seguinte  $d+1$  não pode haver um padrão de horário  $p_3$  para um mesmo médico  $i$ . Pois o padrão  $p_4$  termina às 19 horas do dia seguinte e o padrão  $p_3$  no dia seguinte começa às 7 horas, o que causaria a sobreposição desses plantões: vide Eq. (5)
- Quando no dia  $d$  tiver um padrão de horário  $p_4$ , no dia seguinte  $d+1$  não pode haver um padrão de horário  $p_1$  para um mesmo médico  $i$ . Pois o padrão  $p_4$  termina às 19 horas do dia seguinte e o padrão  $p_1$  no dia seguinte começa às 7 horas, o que causaria a sobreposição desses plantões: vide Eq. (6)

ii) Após a realização de um ou vários plantões seguidos totalizando 24 horas de plantão ininterrupto, deve-se ter um intervalo de pelo menos 11 horas de descanso até o próximo plantão:

- Os padrões de horário  $p_1$  no dia  $d$ ,  $p_2$  no dia  $d$  e  $p_1$  no dia  $d+1$  para um mesmo médico, não podem ocorrer pois violariam a restrição de descanso entre jornadas de trabalho. Neste caso apenas dois dentre estes três casos podem suceder em sequência: vide Eq. (7)
- Os padrões de horário  $p_2$  no dia  $d$ ,  $p_1$  no dia  $d+1$  e  $p_2$  no dia  $d+1$  para um mesmo médico, não podem ocorrer pois violariam a restrição de descanso entre jornadas de trabalho. Neste caso apenas dois dentre estes três casos podem suceder em sequência: vide Eq. (8)
- Os padrões  $p_3$  no dia  $d$  e  $p_3$  no dia  $d+1$ , não podem ocorrer pois violam a restrição de descanso entre jornadas de trabalho: vide Eq. (9)
- Os padrões  $p_4$  no dia  $d$  e  $p_4$  no dia  $d+1$ , não podem ocorrer pois violam a restrição de descanso entre jornadas de trabalho: vide Eq. (10)
- Os padrões  $p_4$  no dia  $d$  e  $p_2$  no dia  $d+1$ , não podem ocorrer pois violam a restrição de descanso entre jornadas de trabalho: vide Eq. (11)
- Os padrões  $p_2$  no dia  $d$  e  $p_3$  no dia  $d+1$ , não podem ocorrer pois violam a restrição de descanso entre jornadas de trabalho: vide Eq. (12)
- Os padrões  $p_1$  no dia  $d$  e  $p_4$  no dia  $d+1$ , não podem ocorrer pois violam a restrição de descanso entre jornadas de trabalho: vide Eq. (13)

iii) A quantidade de horas escaladas para o profissional médico não pode ser inferior à quantidade de horas de contrato do mesmo (onde  $y$  é o número de dias do mês em questão): vide Eq. (14)

iv) As restrições flexíveis (soft-constraints) referentes às preferências de horários dos profissionais, serão atendidas desde que não afetem as restrições rígidas impostas pelo problema: vide Eq. (15)

Onde,

- $k$  é o conjunto/grupo de médicos que tem determinada preferência.
- $P$  é o fator de penalização. A penalização foi empregada de modo a desfavorecer os dias e/ou plantões em que o trabalhador não deseje laborar. O valor relativo a cada penalidade é  $P=100$ .

v) Restrição para impedir que sejam lançados plantões em dias que o profissional médico esteja em afastamento (férias, atestados, licenças, etc): vide Eq. (16). Onde,  $t$  é o grupo de médicos que estão afastados e  $c$  é o conjunto de dias do afastamento do médico.

vi) Restrição que garante o número mínimo de médicos no atendimento por turno de cada setor.

Turno matutino: vide Eq. (17) Turno vespertino: vide Eq. (18) Turno noturno: vide Eq. (19)

### 3.1.4 Modelo Matemático Completo

Nesta seção é apresentado o modelo matemático completo utilizando PLIB, conforme explicitado nas seções 3.1.1 a 3.1.3.

$$\text{MINIMIZE horas } \sum_i \sum_p \sum_d C_p M_{ipd} + \text{Penalizacao} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$M_{ip_1d} + M_{ip_3d} + M_{ip_4d} \leq 1 \quad (2)$$

$$M_{ip_2d} + M_{ip_3d} + M_{ip_4d} \leq 1 \quad (3)$$

$$M_{ip_3d} + M_{ip_4d} \leq 1 \quad (4)$$

$$M_{ip_4d} + M_{ip_{3d+1}} \leq 1 \quad (5)$$

$$M_{ip_4d} + M_{ip_{1d+1}} \leq 1 \quad (6)$$

$$M_{ip_1d} + M_{ip_2d} + M_{ip_{1d+1}} \leq 2 \quad (7)$$

$$M_{ip_2d} + M_{ip_{1d+1}} + M_{ip_{2d+1}} \leq 2 \quad (8)$$

$$M_{ip_3d} + M_{ip_{3d+1}} \leq 1 \quad (9)$$

$$M_{ip_4d} + M_{ip_{4d+1}} \leq 1 \quad (10)$$

$$M_{ip_4d} + M_{ip_{2d+1}} \leq 1 \quad (11)$$

$$M_{ip_2d} + M_{ip_{3d+1}} \leq 1 \quad (12)$$

$$M_{ip_1d} + M_{ip_{4d+1}} \leq 1 \quad (13)$$

$$\sum_{d=1}^y (M_{ip_1d} + M_{ip_2d} + M_{ip_3d} + M_{ip_4d}) \geq CH_i \quad (14)$$

$$\text{Penalizacao} = P * \sum_k \sum_p \sum_d M_{kpd}, \quad k \leq i \quad (15)$$

$$\sum_t \sum_p \sum_c M_{tpc} = 0, \quad t \subseteq i \quad e \quad c \subseteq d \quad (16)$$

$$\sum_{id} 6 * M_{ip_1d} + 6 * M_{ip_3d} + 6 * M_{ip_4d} \geq CH_m \quad (17)$$

$$\sum_{id} 6 * M_{ip_1d} + 6 * M_{ip_3d} + 6 * M_{ip_4d} \geq CH_v \quad (18)$$

$$\sum_{id} 12 * M_{ip_2d} + 12 * M_{ip_3d} + 12 * M_{ip_4d} \geq CH_n \quad (19)$$

## 4. TESTES COMPUTACIONAIS

Nesta seção, são apresentados os parâmetros e os resultados dos testes realizados empregando o modelo matemático para o problema de escalonamento apresentado na seção 3.

Nos testes realizados nesta seção foram empregadas informações reais de profissionais, setores do hospital e restrições da instituição. As informações de identificação dos profissionais foram alteradas para preservá-los. Todos os testes realizados foram executados em computador com processador Intel Core i5 3.2 GHz, memória RAM de 8GB e sistema operacional Windows 10 Pro 64 bits. As escalas geradas são dinâmicas, podendo ser alteradas e novamente executada a modelagem, pois a execução do modelo é rápida. O software desenvolvido para encontrar a solução ótima foi implementado na linguagem C++ e fazendo uso da API do GLPK (GNU Linear Programming Kit) versão 4.65 que é uma biblioteca de rotinas muito empregado na resolução de problemas de programação linear de grande escala (GLPK, 2018). Dentre as técnicas disponíveis na API do GLPK, foi utilizado o método exato Branch-and-Cut para solucionar o problema.

As escalas de trabalho podem ser alteradas até dez dias antes do início do mês de referência. Depois desse prazo as escalas são fechadas e publicadas e não podem sofrer alterações em seus plantões ordinários com exceção das trocas de plantões e inclusão de plantões extraordinário em decorrência de imprevistos durante o mês de referência.

Para a execução do teste comparativo foi utilizada uma escala de trabalho real, contendo 15 profissionais da área de pediatria. Para cada turno havia uma exigência de dois profissionais em atendimento. A quantidade de profissionais convertida em carga horária necessária para cada turno é obtida multiplicando a duração do turno pela quantidade mínima de profissionais. Já a carga horária dos médicos está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 – Carga horária dos profissionais, Teste Comparativo.

| Profissional | Carga Horária Contratada | Dias Afastado | Carga Horária Disponível |
|--------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
| Médico01     | 144                      | 0             | 144                      |
| Médico02     | 144                      | 0             | 144                      |
| Médico03     | 72                       | 3             | 60                       |
| Médico04     | 72                       | 0             | 72                       |
| Médico05     | 144                      | 0             | 144                      |
| Médico06     | 144                      | 31            | 0                        |
| Médico07     | 72                       | 1             | 72                       |
| Médico08     | 72                       | 0             | 72                       |
| Médico09     | 72                       | 0             | 72                       |
| Médico10     | 144                      | 0             | 144                      |
| Médico11     | 72                       | 0             | 72                       |
| Médico12     | 72                       | 0             | 72                       |
| Médico13     | 72                       | 0             | 72                       |
| Médico14     | 72                       | 0             | 72                       |
| Médico15     | 144                      | 0             | 144                      |

Para o teste comparativo demonstrado nessa seção, foi utilizada uma escala de trabalho real, elaborada em um mês anterior pela SESAU-TO, para que servisse de modelo comparável com uma escala gerada pela programação matemática, que seguiu os mesmos parâmetros da escala original. A escala original possuía 15 funcionários, com uma carga horária total de força de trabalho de 1512 horas, e como fator importante, pode-se destacar, que o Médico06 esteve afastado o mês inteiro, o que diminui a carga horária total em 144 e o Médico03 ficou afastado 3 dias, o que diminui mais 12 horas, restando 1356 horas de força de trabalho.

Foi possível notar também que na escala original foram lançadas 1272 horas de plantões ordinários e 252 horas de plantões extraordinários, resultando em um total de 1524 horas de trabalho lançadas na escala, com uma média diária de 48 horas de força de trabalho. No dia com maior número de profissionais quando somadas havia 72 horas de força de trabalho, e no dia com menor quantidade de profissionais havia 48 horas.

A modelo proposto foi resolvido em uma máquina com a configuração relatada no início desta seção e o tempo médio para encontrar a solução ótima foi de 2 segundos. Assim, na escala gerada pelo resolvidor (fazendo uso do modelo proposto), foram lançadas 1488 horas de trabalho, bem como a quantidade total de horas de força de trabalho disponível de 1356 horas. Adotou-se como horas extraordinárias as 132 horas que ultrapassaram esse valor. Devido à insuficiência de carga horária para completar as escalas de trabalho, o Governo do Estado do Tocantins no anexo II da lei nº 2.716/13 (Tocantins, 2013), instituiu valores para plantões extraordinários de profissionais médicos a fim de garantir o pleno funcionamento das unidades de saúde conforme a Tabela 4.

Quando calculada a despesa com horas extraordinárias, a escala original gerou 252 horas de plantões extraordinários, o que em valores totais levando-se em consideração o desembolso financeiro necessário para pagá-los, conforme o estabelecido na Lei 2.716 (Tabela 4) foi de R\$25.200,00, e as 132 horas de plantões extraordinários geradas pela programação matemática



criaria um gasto de R\$13.200,00, assim gerando uma economia de R\$12.000,00, representando diminuição na despesa de 47,6%. Na construção deste trabalho foram utilizados como referência duas dissertações de mestrado, Borba (2010) e Paranhos (2012), que tratam de problemas análogos ao deste trabalho.

O diferencial deste trabalho para os trabalhos de referência é que os dois trabalhos anteriores utilizam heurísticas para encontrar soluções viáveis para o problema de alocação, enquanto neste trabalho utiliza-se o método exato Branch-and-Cut para encontrar a solução do problema. As diferenças de modelagem em comparação ao trabalho de Borba (2010) é que neste trabalho foram empregadas restrições de horários de descanso, impedimento de lançamento de plantões nos dias em que o profissional estiver afastado e levar em consideração a quantidade de dias afastado para lançar a carga horária proporcional.

A principal distinção relacionada ao trabalho de Paranhos (2012) é a existência de restrições flexíveis (soft-constraints), que são utilizadas neste trabalho, enquanto no trabalho de referência possuem apenas restrições rígidas.

Tabela 4 – Anexo II à Lei No. 2716, de 16 de Maio de 2013.

| PROFISSIONAIS   | PLANTÃO EXTRA DE 6H (RS) | PLANTÃO EXTRA DE 12H (RS) | PLANTÃO EXTRA DE 24H (RS) |
|---|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Médico em Unidade de Terapia Intensiva (Pediátrica, Neonatal e Unidade de Cuidados Intermediários Neonatal) | 600,00                   | 1.200,00                  | 2.400,00                  |
| Médico em Pronto-socorro da Pediatria   | 550,00                   | 1.100,00                  | 2.200,00                  |
| Médico presencial   | 500,00                   | 1.000,00                  | 2.000,00                  |
| Médico de sobreaviso  | 324,00                   | 648,00                    | 1.296,00                  |

## 5. CONCLUSÃO

Devido a complexidade e representatividade da Gestão em Saúde brasileira, tendo em vista o tamanho dos investimentos necessários, tanto relativos a recursos orçamentários, quanto no emprego da força de trabalho para a manutenção do direito constitucional da saúde para uma estimativa de 207,6 milhões de pessoas em todo território nacional, o melhor emprego de técnicas e tecnologias para otimização dos escassos recursos financeiros e de trabalho especializado, torna-se vital para a preservação do SUS.

Neste contexto, modelagem matemática para solução de problemas de natureza complexa é necessária tanto para questões operacionais, quanto para o auxílio na tomada de decisões e análise de resultados. O modelo elaborado neste trabalho tem como objetivo facilitar o escalonamento de profissionais médicos, por meio de PLIB, com a finalidade de proporcionar exatidão na elaboração de escalas de trabalho e principalmente garantir o melhor uso dos recursos disponíveis. Conforme demonstrado na análise de resultados, a abordagem empregada permite a melhor distribuição da força de trabalho, comprovando a economicidade gerada pelo modelo matemático desenvolvido.

No teste comparativo realizado entre a escala de trabalho real e a escala gerada pela programação matemática, constatou-se a diminuição de 120 horas de plantões extraordinários, o que representa 47,6% de redução, o que em termos financeiros gerou economia de R\$12.000,00 em um único mês, escala esta que possuía somente 15 profissionais. Acredita-se que processando todas as escalas de todos os médicos, esse ganho financeiro seja ainda maior.

Diante de tais resultados podemos apontar que, ao imaginar tal inovação sendo praticada em maior dimensão, representaria potencialmente uma grande redução nas despesas com pessoal da SESAU-TO e organizações similares, recursos estes que poderiam ser empregados em despesas mais oportunas e necessárias. Outro fator a ser considerado é maior objetividade, imparcialidade e segurança na composição de escalas, pois fatores de relacionamentos interpessoais não são considerados no modelo matemático, excluindo hipóteses

de favorecimentos indevidos a profissionais. Da mesma maneira, salienta-se que as escalas sendo geradas autonomamente, possibilita que o tempo anteriormente dedicado pelos coordenadores para a elaboração de escala de modo convencional, possa ser melhor empregado em outras atividade ligadas à gestão e monitoramento das equipes, podendo assim aumentar o ganho em produtividade e qualidade dos serviços prestados.

O modelo matemático desenvolvido apresenta possibilidade de a depender da conveniência e oportunidade, levar em consideração, como restrições não rígidas, fatores de ordem pessoal do profissional/servidor. No entanto, a regra primordial é a preservação do pleno funcionamento da organização. Referente aos objetivos deste trabalho, todos foram satisfatoriamente atendidos, tanto nas fases de diagnóstico do problema quanto na apresentação de resultados e o objetivo principal do mesmo, foi rigorosamente cumprido, pois além de elaborar o modelo matemático foi comprovada a sua eficiência e eficácia. Importante citar que o estudo realizado teve como foco, apenas uma pequena parcela dos servidores da SESAU-TO e os testes foram realizados em uma amostra pequena, podendo portanto no futuro, ser alvo de estudos mais aprofundados quanto à implantação do produto final deste trabalho.

**Agradecimentos:** os autores agradecem o apoio financeiro da FAPERJ, do CNPq e da CAPES.

## REFERÊNCIAS

- Beddoe, G. R. Case-based reasoning in personnel rostering. In: . [S.l.: s.n.], 2004.
- Bellanti, F. et al. A greedy-based neighborhood search approach to a nurse rostering problem. *European Journal of Operational Research*, v. 153, n. 1, p. 28-40, 2004.
- Berrada, I.; Ferland, J. A.; Michelon, P. A multi-objective approach to nurse scheduling with both hard and soft constraints. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 30, n. 3, p. 183 - 193, 1996.
- Borba, N. A. *Uma Solução do Problema de Programação de Equipes de Saúde Pública Via Metaheurísticas*. 2010.
- Brasil. Decreto-lei no 5.452, de 1º de maio de 1943. Consolidação das Leis do Trabalho. *Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]*, Seção 1, p. 4, 1943.
- Brasil, M. d. S. *Introdução à gestão de custos em saúde*. 2. ed. [S.l.]: Brasília, DF: Editora MS, 2013.
- Fakih, F. T.; Tanaka, L. H.; Carmagnani, M. I. S. Ausências dos colaboradores de enfermagem do pronto-socorro de um hospital universitário. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 25, p. 378-385, 2012.
- GLPK, 2018. Disponível em: <<https://www.gnu.org/software/glpk/>>
- Marin, H. Sistemas de informação em saúde: considerações gerais. v. 2, 03 2010.
- Matos, A. J. d. *Custos: planejamento, controle e gestão na economia globalizada*. 2. ed.: SP: Editora STS, 2002.
- Nascimento, J. M. *Custos: planejamento, controle e gestão na economia globalizada*. 2. ed. [S.l.]: Atlas, 2001.
- Paranhos, G. A. *Estudo de Metaheurísticas Aplicadas ao Problema de Sequenciamento de Cirurgias Eletivas*. 2012.
- Souza, G. P. S. et al. A problemática da elaboração da escala mensal de enfermagem. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 24, p. 137-141, 2011.
- Tocantins, G. d. E. d. *Lei 2.716/13 de 16 maio*. 2013.

## MATHEMATICAL MODELING AND EXACT PROBLEM SOLUTION OF ALLOCATION OF MEDICAL SCALES

**Abstract.** *This work aimed at the development of an advantageous mathematical model to meet the needs of the activity of creating scales of work in the public health sector, helping both the elaboration of the scale itself and the management of professional staff by the compilation of managerial information that help in the decision making of the manager, greatly reducing the difficulty in administration, given the large number of variables that affect health services. As a contribution, in this work a computational model was developed and solved by an accurate method for the allocation and management of personnel in the public health area, serving as an aid in the development of software in the public health sector.*

**Keywords:** *Mathematical Model, Allocation of Medical Scales, Exact Method.*