

Programação linear para otimização de escala hospitalar

Fernanda Amaral Melo
Departamento de Ciência da Computação
Universidade de Brasília
Brasília, Brasil
fernanda.amaral.melo@gmail.com

Abstract—O objetivo deste trabalho é a construção de um sistema para a organização automática da escala dos residentes de cirurgia do Hospital Regional da Ceilândia (HRC). Atualmente este processo é realizado de forma manual pelos próprios residentes, sendo fonte de erro humano já que os futuros cirurgiões possuem uma carga de trabalho exaustiva e geralmente montam a distribuição da escala em situações de extremo cansaço físico e mental. Como resultado, alguns residentes podem ser mais sobrecarregados do que os outros, motivo que se mostrou fonte de conflitos internos.

Pretende-se, portanto, utilizar os conhecimentos adquiridos na disciplina de Pesquisa Operacional para desenvolver um algoritmo de programação linear que monta a escala seguindo uma série de restrições de modo a minimizar a diferença de carga horária semanal entre os residentes.

I. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O Hospital Regional da Ceilândia possui dois programas de residência em cirurgia. O primeiro deles tem duração de 3 anos e habilita o médico formado com o título de cirurgião geral, o tornando apto para a realização de procedimentos externos ao HRC imediatamente após o término da residência. O outro programa tem duração de 2 anos e o seu foco é ensinar o necessário da área cirúrgica básica para que os residentes consigam ingressar posteriormente em outro programa de especialização que exijam este título, como urologia, cirurgia do trauma, do aparelho digestivo, dentre outros.

O HRC possui os seguintes perfis de residentes no seu corpo clínico:

- R1: Residente do primeiro ano. O seu foco é aprender o máximo possível da rotina do hospital e realizar procedimentos simples, está sempre acompanhado de algum residente dos anos subsequentes e passa a maior parte das suas horas dentro do hospital.
- R2: Residente do segundo ano. O seu foco é realizar procedimentos mais complexos, ensinar os R1s e estudar para as provas de sub especialização. Como este perfil precisa de tempo hábil para se preparar para a prova, ele geralmente passa menos tempo dentro do hospital e sua escala é menos puxada quando comparada à dos R1s.
- R3: Residente do terceiro ano. O seu foco é realizar somente os procedimentos mais complexos que chegam no centro cirúrgico. Geralmente, é o perfil que passa menos tempo dentro do hospital, atendendo cirurgias marcadas e um plantão de emergência semanal.

- R1_HFA, R2_HFA: São os residentes do primeiro e segundo ano do Hospital das Forças Armadas (HFA), instituição parceira que envia profissionais para a realização de alguns plantões semanais no HRC.

Além da quantidade, nome e tipo dos residentes, outro dado importante para o problema é a definição dos plantões existentes no hospital. Para cada plantão será definido:

- Nome e local
- Horário de início e fim
- Frequência semanal
- Quantidade necessária de residentes

O HRC possui seis tipos de plantões. Praticamente todos exigem a presença de dois residentes: um iniciante (R1) e um experiente (R2 ou R3), com exceção do ambulatório que é realizado exclusivamente por um residente do primeiro ano (R1). A descrição de cada plantão pode ser conferida abaixo e as Figuras 1 e 2 ilustram, respectivamente, a distribuição de frequência semanal dos plantões e os horários de atendimento em uma escala de 24 horas diárias.

- HRC_dia: Atendimento de emergência do HRC no período diurno.
- HRC_noite: Atendimento de emergência do HRC no período noturno.
- ENF: Enfermaria - Acompanhamento dos pacientes que estão internados no HRC que já foram operados ou irão passar por alguma cirurgia em breve.
- CC: Centro cirúrgico - Cirurgias marcadas no HRC
- HRSam: Cirurgias marcadas no período noturno no Hospital Regional de Samambaia, outra instituição parceira do HRC.
- AMB: Ambulatório - Atendimento de consultório para avaliar os pacientes que estão na fila para serem operados no HRC.

O principal objetivo do algoritmo será a organização de uma escala que cumpra com os requisitos descritos acima e que mantenha uma distribuição horária similar para os residentes do mesmo tipo (R1, R2 ou R3).

II. DESCRIÇÃO DE UM MODELO DE OTIMIZAÇÃO

A. Parametrização

Inicialmente, definimos a quantidade de residentes, de tipos de residentes, plantões e dias do mês e semana que haverão

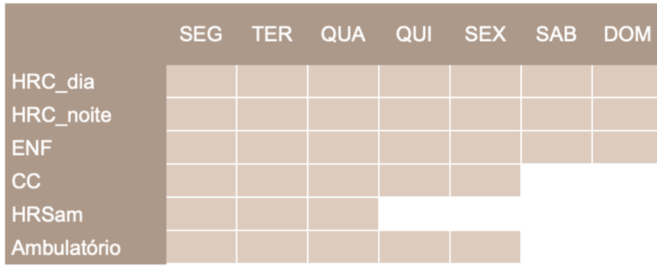


Fig. 1. Distribuição de frequência semanal dos plantões

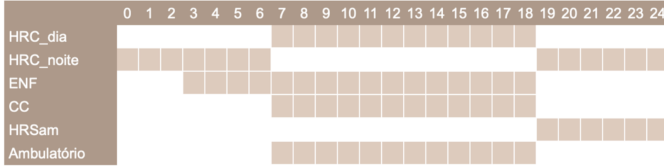


Fig. 2. Horário de início e fim de cada plantão

na escala.

$$R : \text{Numero de residentes} \quad (1)$$

$$T : \text{Quantidade de tipos de residente} \quad (2)$$

$$S : \text{Numero de plantoes} \quad (3)$$

$$D : \text{Numero de dias no mes} \quad (4)$$

$$W : \text{Numero de semanas no mes} \quad (5)$$

Em seguida, temos a definição das variáveis descritas na seção anterior referentes ao nome e tipo de cada residente, além da quantidade de residentes de cada tipo disponíveis.

$$\text{nome_res} : ['Andre', 'Maria', 'Cinthya', ...] \quad (6)$$

$$\text{tipo_res} : ['R1', 'R2', 'R3', ...] \quad (7)$$

$$\text{qtde_tipo_res} : [5, 5, 1, ...] \quad (8)$$

Também definimos as variáveis relacionadas aos tipos de plantão disponíveis e da quantidade de residentes necessária em cada plantão

$$\text{plantoes} : ['HRC_dia', 'HRC_noite', 'ENF', ...] \quad (9)$$

$$\text{qtd_res_plantao} : [2, 2, 2, 2, 2, 1] \quad (10)$$

$$\text{duracao_plantao} : [12, 12, 18, 12, 12, 12] \quad (11)$$

Além disso, a cada semana, um R1 fica responsável pela enfermaria durante toda a semana. Por isso, o sistema também

precisa de uma lista com os nomes dos residentes de cada semana.

$$\text{lista_enf} : ['Andre', 'Maria', 'Cinthya', ...] \quad (12)$$

A matriz de frequências F , de tamanho $S \times 7$, é uma variável binária criada a partir da determinação de frequência semanal da Figura 1. Ela relaciona, para cada plantão s , a ocorrência dos dias da semana (com o índice 0 correspondendo à segunda feira).

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

A matriz de overlap O é uma variável binária criada a partir da determinação do horário de cada plantão definida na Figura 2. Ela determina quais plantões não podem ser realizados no mesmo dia devido à choque de horário.

$$O = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

B. Variáveis alvo

A principal variável alvo do problema é uma matriz 3D binária que determina para cada dia d , se o residente r irá realizar o plantão s :

$$X_{rsd} \quad (15)$$

Vamos criar outras duas variáveis de decisão auxiliares que irão auxiliar na construção do problema:

A primeira é a variável que guarda a carga horária de cada residente r . Para cada semana w e a lista dos dias que fazem parte dela D_w , temos que:

$$H_{rw} = \sum_d \sum_s X_{rsd} \cdot \text{duracao_plantao}[s], \forall r \in R \quad (16)$$

A segunda é a variável que guarda o somatório da carga horária para cada tipo de residente t para cada semana w :

$$S_{tw} = \sum_r H_{rw} \cdot is_t, \forall w \in W \quad (17)$$

com

$$is_t = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{tipo_res}[r] = t \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

C. Restrições

A redução da diferença de carga horária entre os residentes corresponde à minimização do desvio padrão e não pode ser realizada diretamente com programação linear. Para alcançar este objetivo, foi criada uma restrição que limita a distância da média de horas semanais.

Para isto, vamos utilizar as duas variáveis de decisão auxiliares criadas anteriormente. Aqui, vamos comparar o somatório S_{tw} de horas para cada tipo de residente t de cada semana w com a carga horária semanal H_{rw} de um residente r que seja do tipo t na mesma semana w .

Em um cenário onde todos estão igualmente escalados, temos que a multiplicação da carga horária H_{rw} de qualquer residente pelo total (N) seria igual ao somatório S_{tw} . Considerando N como a quantidade de residentes daquele tipo, $N = qtde_tipo_res[t]$. Aqui vamos considerar uma precisão de 25% para esse limiar de igualdade com a soma.

$$0.75 \cdot S_{tw} \leq H_{rw} \cdot qtde_tipo_res[t] \leq 1.25 \cdot S_{tw} \quad (18)$$

$$\forall w \in W, \forall t \in T, \forall r \in R \text{ se } tipo_res[r] = t$$

Além da restrição de justiça, foram definidas outras oito que se relacionam com a rotina e necessidades de cada plantão.

- 1) Garantir que haja o número de residentes necessário em cada plantão

$$\sum_r^R X_{rsd} = qtde_res_plantao[s] \quad (19)$$

$$\forall s \in S, \forall d \in D$$

- 2) Garantir que não haja choque de horário na escala

$$\sum_{s1}^S X_{rs1d} \cdot O_{s2,s1} \leq 1 \quad (20)$$

$$\forall s_2 \in S, \forall d \in D$$

- 3) Ambulatório só tem R1

$$\sum_r^R X_{rsd} \cdot is_not_r1 = 0 \quad (21)$$

$$\forall s = 5, \forall d \in D$$

com

$$is_not_r1 = \begin{cases} 1 & \text{if } tipo_res[r] \neq 'R1' \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

- 4) HRC_dia/noite, HRSam, ENF e CC precisa de um R1 e um R2/R3 por turno

$$\sum_r^R X_{rsd} \cdot is_r1 = 0 \quad (22)$$

$$\forall s \in \{0, 1, 2, 3\}, \forall d \in D$$

com

$$is_r1 = \begin{cases} 1 & \text{if } tipo_res[r] \in ['R1', 'R1_HFA'] \\ -1 & \text{else} \end{cases}$$

- 5) Residentes do HFA só fazem HRC_noite/dia

$$\sum_d^D X_{rsd} = 0 \quad (23)$$

$$\forall s \in \{2, 3, 4, 5\}$$

$$\forall r \in R \text{ se } tipo_res[r] \in \{R1_HFA, R2_HFA\}$$

- 6) R3 faz HRC_dia e CC 1x por semana cada
Para cada semana e a lista dos dias que fazem parte dela D_w , temos que:

$$\sum_d^{D_w} X_{rsd} = 1 \quad (24)$$

$$\forall s \in \{0, 3\}, \forall r \in R \text{ se } tipo_res[r] = 'R3'$$

- 7) R3 não faz parte dos demais plantões (HRC_noite, AMB, ENF, HRSam)

$$\sum_d^D X_{rsd} = 0 \quad (25)$$

$$\forall s \in \{1, 2, 4, 5\}, \forall r \in R \text{ se } tipo_res[r] = 'R3'$$

- 8) O R1 fica a semana toda na enfermaria Para cada semana w e a lista dos dias que fazem parte dela D_w , temos que:

$$\sum_d^{D_w} X_{rsd} = 1 \quad (26)$$

$$\forall s = 4, \forall r \in R \text{ se } lista_enf[w] = r$$

D. Função Objetivo

Ao final, queremos minimizar o somatório de horas semanais realizadas por cada tipo de residente.

$$\min \left(\sum_s^S \sum_t^T S_{tw} \right) \quad (27)$$

III. PROTÓTIPO E RESULTADOS

O solver utilizado no problema foi o *py-wrapp.Solver.CBC_MIXED_INTEGER_PROGRAMMING* voltado para problemas de otimização com múltiplas decisões do ORTOOLS.

O algoritmo foi testado com a geração de uma escala para o mês de Novembro de 2021 para os seguintes residentes:

Nome	Tipo
André	R1
Maria	R1
Cinthyá	R1
Rolando	R1
Victor	R1
Lucas	R2
Giselia	R2
Pedro	R2
Bárbara	R2
Douglas	R2
Filipe	R3
Berbem	R2_HFA
Douglas HFA	R2_HFA
Vitória HFA	R1_HFA

A tabela abaixo ilustra os dados relacionados aos plantões: Nome, horário de início e fim, frequência semanal e o número de residentes necessários.

Nome	Hr início	Hr fim	Frequência	N res
HRC_dia	7	19	[1,1,1,1,1,1,1]	2
HRC_noite	19	7	[1,1,1,1,1,1,1]	2
ENF	7	19	[1,1,1,1,1,1,1]	2
CC	7	19	[1,1,1,1,1,0,0]	2
HRSam	19	24	[1,1,1,0,0,0,0]	2
Amb	7	19	[1,1,1,1,1,0,0]	1

Ao final, o algoritmo encontrou uma solução ótima e a saída do problema é a escala mensal em um formato de tabela similar ao utilizado atualmente pelos residentes, conforme pode ser visto na Figura 3

	HRC_dia	HRC_noite	ENF	CC	HRSam	Amb
1/11	Cinthyá, Lucas	Victor, Pedro	André, Pedro	Maria, Douglas	Cinthyá, Douglas	Victor
2/11	Maria, Bárbara	Douglas HFA, Vitória HFA	André, Giselia	Victor, Lucas	Rolando, Douglas	Cinthyá
3/11	Rolando, Bárbara	Victor, Bárbara	André, Pedro	Victor, Giselia	Cinthyá, Giselia	Cinthyá
4/11	Rolando, Bárbara	Berbem, Vitória HFA	André, Douglas	Cinthyá, Lucas		Victor
5/11	Maria, Douglas	Maria, Lucas	André, Giselia	Rolando, Filipe		Victor
6/11	Cinthyá, Pedro	Maria, Douglas	André, Giselia			
7/11	Rolando, Filipe	Douglas HFA, Vitória HFA	André, Bárbara			
8/11	André, Pedro	Victor, Giselia	Maria, Bárbara	Victor, Douglas	Rolando, Douglas	Cinthyá
9/11	Rolando, Lucas	Berbem, Vitória HFA	Maria, Douglas	André, Pedro	André, Douglas	Victor
10/11	Cinthyá, Lucas	Cinthyá, Bárbara	Maria, Bárbara	Rolando, Giselia	Victor, Pedro	André
11/11	Victor, Giselia	Berbem, Vitória HFA	Maria, Lucas	Rolando, Filipe		Cinthyá
12/11	Victor, Bárbara	André, Douglas	Maria, Douglas	Rolando, Lucas		André
13/11	Victor, Filipe	Cinthyá, Giselia	Maria, Pedro			
14/11	André, Giselia	Douglas HFA, Vitória HFA	Maria, Pedro			
15/11	Rolando, Filipe	Rolando, Douglas	Cinthyá, Douglas	Victor, Bárbara	Maria, Bárbara	Maria
16/11	André, Giselia	Douglas HFA, Vitória HFA	Cinthyá, Lucas	Victor, Pedro	Rolando, Pedro	Rolando
17/11	Rolando, Douglas	Maria, Lucas	Cinthyá, Giselia	Victor, Filipe	Victor, Bárbara	Maria
18/11	Victor, Giselia	Douglas HFA, Vitória HFA	Cinthyá, Pedro	André, Bárbara		Rolando
19/11	Victor, Bárbara	Rolando, Bárbara	Cinthyá, Douglas	Maria, Lucas		André
20/11	Victor, Lucas	André, Pedro	Cinthyá, Pedro			
21/11	André, Giselia	Berbem, Vitória HFA	Cinthyá, Lucas			
22/11	André, Pedro	Victor, Douglas	Rolando, Lucas	Maria, Douglas	Maria, Giselia	Cinthyá
23/11	Maria, Bárbara	Douglas HFA, Vitória HFA	Rolando, Lucas	André, Giselia	Victor, Bárbara	Cinthyá
24/11	André, Pedro	Victor, Giselia	Rolando, Douglas	Maria, Giselia	Cinthyá, Pedro	Cinthyá
25/11	Cinthyá, Giselia	Douglas HFA, Vitória HFA	Rolando, Bárbara	Victor, Filipe		André
26/11	Maria, Lucas	Cinthyá, Lucas	Rolando, Bárbara	Victor, Douglas		André
27/11	Victor, Filipe	Maria, Lucas	Rolando, Giselia			
28/11	Victor, Pedro	Douglas HFA, Vitória HFA	Rolando, Bárbara			
29/11	Rolando, Filipe	André, Douglas	Victor, Giselia	Maria, Bárbara	Rolando, Lucas	Cinthyá
30/11	Cinthyá, Lucas	Douglas HFA, Vitória HFA	Victor, Pedro	André, Filipe	Rolando, Bárbara	Maria

Fig. 3. Escala gerada pelo algoritmo

É possível notar que as restrições delimitadas de horário, frequência e tipo de residente foram respeitadas.

As Figuras 4 e 5 ilustram a diferença entre as cargas horárias dos residentes do primeiro e segundo ano, respectivamente, para cada semana do mês. O gráfico para o R3 não foi gerado porque só existe um R3 no HRC atualmente.

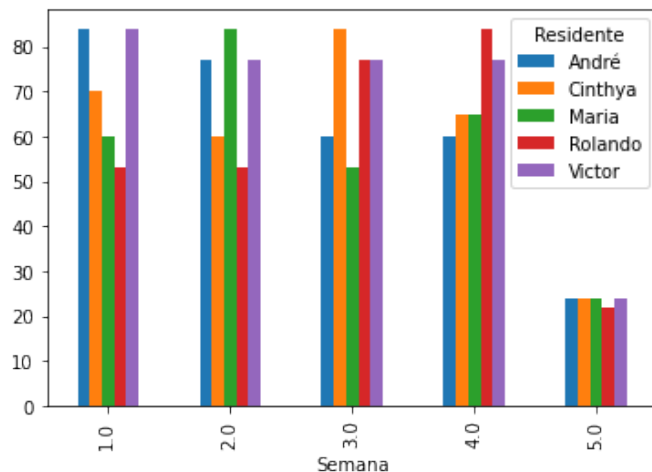


Fig. 4. Carga horária dos R1s

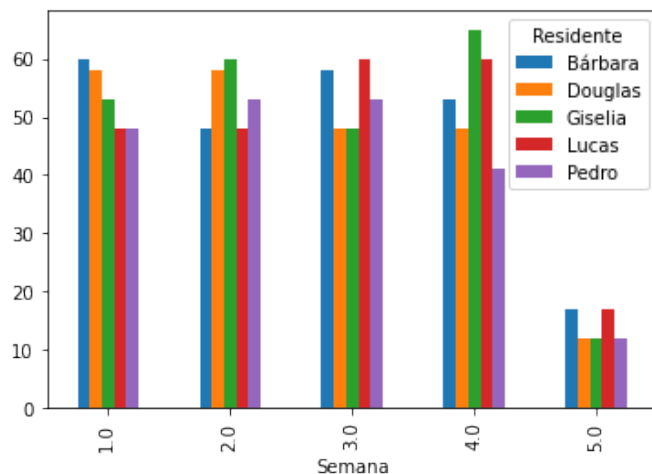


Fig. 5. Carga horária dos R2s

Notamos que, infelizmente, houve uma diferença grande entre a carga horária dos residentes do mesmo tipo. Apesar disso, essa diferença ainda respeita o limite determinado com a restrição. Isso indica que a modelagem do problema foi feita corretamente, no entanto, ao tentar diminuir a precisão da restrição de justiça, obtemos um problema que não pode ser solucionado.

Para solucionar da forma devida o problema, propõe-se o uso de algoritmos alternativos de otimização que permitam a solução de problemas não lineares, como a utilização de outros solvers do ORTOOLS ou a remodelagem do sistema para uso de técnicas diferentes, como reinforcement learning.