Escalonamento de enfermeiros através de programação inteira

Eduardo G. S. Advignolli¹, Felipe de Andrade Gaia², Júnior César Bonafim³

¹Faculdade de Tecnologia de Ribeirão Preto - (FATEC)
Ribeirão Preto, SP – Brasil

eduardo.advignolli@fatec.sp.gov.br, felipe.gaia@fatec.sp.gov.br,
junior.bonafim@fatec.sp.gov.br

Resumo. *O problema de escalonamento de enfermeiros consiste em alocar cada enfermeiro de um corpo de enfermagem em um respectivo turno de trabalho dentro de um intervalo de tempo, sem desrespeitar nenhuma norma da instituição nem lei trabalhista. Encontrar a melhor solução possível para este problema não é uma tarefa fácil, pois não se resume em alocar turnos de trabalho sem desobedecer a nenhuma regra, um bom alocador de enfermeiros busca satisfazer ao máximo as vontades pessoais de cada funcionário evitando sobrecarregar os outros. Este Trabalho busca usar fundamentos de pesquisa operacional e programação inteira para elaborar uma solução que receba as informações de dias de folga desejados por cada enfermeiro, e a partir disso elabora o melhor escalonamento possível, obedecendo todas as normas e restrições institucionais e trabalhistas garantindo que o máximo de folgas escolhidas sejam atendidas.*

Palavras-chave: *Enfermeiros, Escalonamento, Pesquisa Operacional, Programação Inteira*

Abstract. *The nurse scheduling problem consists in allocating each nurse of a nursing staff to a respective work shift within a time interval, without disrespecting any of the institution's rules or labor laws. Finding the best possible solution to this problem is not an easy task, because it is not only about allocating work shifts without disobeying any rules. A good nurse allocator tries to satisfy the personal wishes of each employee as much as possible, avoiding overloading the others. This paper seeks to use operational research and integer programming fundamentals to develop a solution that receives the information of days off desired by each nurse, and from this, develops the best possible scheduling, obeying all the institutional and labor norms and restrictions, ensuring that the maximum number of days off chosen are met.*

Keywords: *Nurses, Scheduling, Operational Research, Integer Programming*

1. Introdução

Elaborar escalas de funcionários é um problema tão comum quanto difícil de ser resolvido, pois para distribuir horários de uma forma justa, otimizada e rápida, uma série de fatores e variáveis devem ser levadas em consideração. Quando se trata de um ambiente hospitalar, o problema se torna ainda maior, pois escalas elaboradas sem planejamento podem acarretar em problemas na qualidade de trabalho do profissional da saúde além de impactar diretamente na qualidade do tratamento ao paciente (BURKE et al., 2004).

Normalmente todo esse processo é manual e consome horas de trabalho de um funcionário que poderia estar desenvolvendo outras tarefas. Outro problema é que se uma pequena mudança, como a indisponibilidade de um funcionário em certos dias ocorre, acaba por alterar totalmente a escala, podendo até levar o profissional a desenvolver toda a agenda do início.

Apesar de se tratar de um problema bastante discutido nos últimos anos, o mesmo possui muitas variações. Em cada ambiente em que é implementado exige-se restrições específicas, assim se tornando um novo problema a ser abordado e resolvido. Muitos trabalhos propõem diferentes estratégias para modelagem e solução deste problema conhecido na literatura como *Nurse scheduling problem*, em português, Problema de Escalonamento de Enfermeiros (PEE). Porém, não foi encontrado trabalho que suprisse todas as necessidades da situação abordada neste texto.

O objetivo deste trabalho é a elaboração de um modelo matemático de programação inteira capaz de simular um ambiente real de hospital e resolver um problema constantemente enfrentado neste ambiente, considerando as normas que regem a jornada de trabalho e os requisitos necessários para se cumprir ao elaborar a escala de funcionários. Tal modelo busca desenvolver uma escala que melhor atende as necessidades do setor, enquanto busca satisfazer as solicitações de folgas dos enfermeiros.

O método de pesquisa utilizado nesse trabalho é predominantemente a modelagem matemática voltada à Pesquisa Operacional. Por se tratar de uma pesquisa que utiliza de estratégias e normas com o fim de encontrar a solução ótima para o problema, se enquadra em uma pesquisa axiomática normativa, como descrita por MIGUEL et al. (2010).

O restante deste trabalho é organizado da seguinte maneira: a sessão 2 apresenta a revisão bibliográfica do problema de escalonamento de enfermeiros, além da área de pesquisa operacional; na sessão 3, será apresentada a descrição detalhada do problema abordado e seus desafios; a sessão 4 apresenta a formulação matemática desenvolvida para a situação trabalhada; a sessão 5 apresenta os experimentos computacionais realizados bem como os resultados obtidos; finalmente, a seção 6 apresenta as considerações finais bem como pesquisas futuras.

2. Breve revisão da literatura

O escalonamento de enfermeiras é um problema complexo amplamente estudado, sendo desenvolvidas e aplicadas diversas estratégias e técnicas para solucionar o mesmo. Esse problema é particularmente difícil de ser resolvido justamente pela necessidade de considerar múltiplos dias e turnos, ao mesmo tempo respeitando todas as leis trabalhistas e normas da empresa.

2.1. Problema de Escalonamento de Pessoal (PEP)

A compreensão do PEP necessita da compreensão dos termos *rostering* e *scheduling* que traduzidos da língua inglesa significam respectivamente, escalonamento e rodízio. Problemas de *rostering* têm maior enfoque na qualidade de alocação em detrimento da redução de custos, enquanto que problemas de *scheduling* têm maior enfoque na redução de custos (VALDES, 2010).

O Problema de Escalonamento de Enfermeiros (PEE) nada mais é do que usar uma resolução de problema de escalonamento de pessoal (PEP) para construir escala de um corpo de enfermagem, o que desencadeia em restrições mais refinadas, como satisfazer um número mínimo de enfermeiros que precisam obrigatoriamente estar presentes em uma unidade e escalas de revezamento complexas.

É importante citar que a apenas a solução matemática não é tudo. A vida pessoal dos profissionais deve ser considerada ao mesmo tempo. Não considerar isso impacta diretamente na qualidade do trabalho e como enfermeiros tem como responsabilidade a saúde de seus pacientes, isso pode gerar grandes problemas. Cada ambiente de trabalho possui uma realidade particular, o que dificulta a criação de um algoritmo genérico que satisfaça a todos, a forma como os plantões são distribuídos podem ser diferentes em hospitais geridos por instituições distintas. Além disso é natural que as metas e vida pessoal dos enfermeiros mudem com o passar dos meses, por isso mesmo que exista um algoritmo para aquele ambiente de trabalho, a possibilidade de alterações faz com que seja ainda mais complexo a elaboração do algoritmo. (BURKE et al., 2004).

2.2. Métodos de solução

O PEP é um problema de otimização combinatória classificado como um problema NP (Non-Deterministic Polynomial Time), isto é, o tempo para se percorrer todas as possibilidades a fim de alcançar a solução ótima pode ser excessivamente alto, ao ponto de tornar-se uma solução inviável mesmo quando a entrada do problema é pequena. Assim, a literatura apresenta uma série de abordagens que tem como objetivo obter solução satisfatória para o problema em tempo hábil. Tais estratégias podem ser divididas em métodos exatos, que buscam pela solução ótima do problema, e métodos aproximados que priorizam a velocidade de entrega da solução em detrimento à solução ótima do problema. Algumas destas estratégias são apresentadas a seguir.

Em geral, métodos exatos recaem sobre formulações de programação inteira para variações do PEE que são solucionados via software de otimização comercial. Alguns destes trabalhos são Kanhio et al. (2022), Liang e Turkcan (2016), El-Rifai et al. (2015), Jafari e Salmasi (2015), Yilmaz (2012). O tempo computacional depende da variação do problema abordado bem como do tamanho da entrada, isto é, número de enfermeiros a alocar e número de turnos para alocação.

Os métodos aproximados para abordagem do PEE também são numerosos. Burke, Causmaecker e Berghe (1999) propõem um algoritmo de busca tabu, partindo de um estado inicial factível. Para isso, enfermeiros de todas as categorias são alocados aleatoriamente até que todas as restrições sejam cumpridas. Após esse procedimento é aplicado a busca tabu com algumas adições para obter um melhor resultado. Uma estratégia parecida é utilizada por Portella e Dorn (2014) que compara o desempenho de

um algoritmo de busca tabu com o resolvidor comercial de propósito geral CPLEX onde o algoritmo performou em média um tempo 11% inferior a solução comercial.

Introduzido principalmente por John Henry Holland, um algoritmo genético consiste em uma técnica de busca computacional usada em pesquisa operacional para encontrar soluções aproximadas em problemas de otimização e busca, tendo sua inspiração em fundamentos da biologia evolutiva, como hereditariedade, seleção natural, mutação e recombinação. İnanç e Şenaras (2020) é exemplo recente de trabalhos que utilizam algoritmo genético para resolver o PEE em ambientes hospitalares diversos obtendo soluções aproximadas de boa qualidade.

Ferreira e Dorneles (2022) Utilizam de um método denominado *Simulated Annealing* ou Recozimento Simulado, em português, que inicialmente foi proposto por Kirkpatrick, Gelatt e Vecchi (1983). O método foi nomeado de tal forma devido a sua semelhança ao processo físico de recozimento utilizado pela metalurgia. No caso da otimização, o método utilizado da temperatura para permitir alterações a solução original, buscando escapar de falsos ótimos. Conforme a temperatura diminui, menos a solução é alterada.

3. Descrição do problema

A Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Assistência do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FAEPA), instituição privada, sem fins lucrativos, presta diversos tipos de serviço e suporte para o Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto e outros hospitais públicos regionais, incluindo contratações, gerenciamento de funcionários e das escalas de enfermeiros. A formulação para escalas de enfermeiros apresentada neste trabalho tem motivação em setores hospitalares atendidos pela FAEPA que trabalham com dois contratos diferentes. Alguns enfermeiros trabalham com o modelo 12x36, onde o mesmo possui uma jornada de trabalho de 12 horas e tem direito a 36 horas de descanso. Já no outro modelo, o enfermeiro trabalha por 6 horas diárias.

A escala é dividida em dois períodos; diurno, no qual enfermeiros 12x36 que trabalham das 6:00 às 18:00 dividem turnos com enfermeiros que trabalham 6 horas diárias, sendo das 6:00 às 12:00 ou das 12:00 às 18:00. No período noturno, trabalham exclusivamente os enfermeiros com o contrato 12x36, começando o expediente às 18:00 e encerrando às 6:00 do dia seguinte.

Um enfermeiro que trabalha em um turno diurno deve evitar trabalhar em um turno noturno em qualquer outro dia do mês, Além de causar desconforto para o enfermeiro por desregular todo seu relógio fisiológico impactando diretamente a qualidade do sono, misturar plantões diurnos e noturnos para o mesmo trabalhador pode resultar em uma irregularidade trabalhista segundo o artigo 60 da lei nº 13.467/2017, Que diz que todo trabalhador que faz uma carga horária de 12 horas deve ter no mínimo 36 horas de descanso em seguida. Um plantão diurno logo após um plantão noturno por exemplo, não permitiria que as 36 horas de descanso fossem regularmente cumpridas, a não ser que se tenha uma folga entre eles, que acabaria sendo desagradável para o enfermeiro.

O objetivo final do algoritmo é elaborar uma escala de enfermeiros em um tempo viável, maximizando a quantidade de folgas pessoais atendidas, considerando a existência de enfermeiros 12x36 e enfermeiros de 6 horas e respeitando todas as seguintes restrições:

- É necessário ter um número mínimo de enfermeiros sempre disponíveis a cada turno no setor; Isso é necessário para satisfazer a demanda de atendimentos aos pacientes em uma enfermaria, este número é variável de acordo com o tipo de atendimento que é prestado neste local ou a demanda diária de pacientes, além de poder ser alterado em outros meses decorrente de eventos como epidemias ou pandemias.
- Após um plantão de 12 horas um enfermeiro deve descansar no mínimo 36 horas; Como citado na lei Nº 13.467.
- O enfermeiro que faz plantão diurno deve ter no máximo 14 plantões no mês; Dessa forma a escala de trabalho iria satisfazer a carga horaria semanal do enfermeiro de forma justa e equilibrada durante o mês.
- O enfermeiro que faz plantão noturno deve ter no máximo 13 plantões no mês; Dessa forma se satisfaz a carga horaria semanal do enfermeiro noturno, que é menor que a carga horaria semanal do enfermeiro que faz plantões diurnos devido aos maiores desgastes rotineiros que trabalhar a noite acarreta.
- Para atender o artigo 67 da lei 13.467/2017 (Lei Trabalhista), um enfermeiro de 6 horas tem como requisito que no mínimo uma de suas folgas em um intervalo de 40 dias caia em um domingo.
- Minimizar plantões em feriados para enfermeiros 12x36; A Sumula 444 prevista na lei 13.467/2017, instituiu que todo trabalhador 12x36 que faça um plantão no dia de um feriado, mesmo que o plantão seja noturno e não tenha todas as horas de sua carga horaria dentro do feriado, receba por suas horas trabalhadas neste feriado em folha de pagamento ou com uma folga a mais, chamada de "Folga Sumula 444".
- Enfermeiros de 6 horas não podem trabalhar mais que 6 dias seguidos; Para evitar sobrecarga nos trabalhadores e não entrar em confronto com nenhuma lei trabalhista, o enfermeiro deve permanecer em descanso interrupto por 24 horas no mínimo uma vez por semana.
- Enfermeiros de 6 horas só podem fazer um plantão por dia; Por regulamento da instituição empregadora, um enfermeiro que não trabalha sobre escala de revezamento 12x36 não pode permanecer mais que 8 horas trabalhando na mesma, pois ultrapassaria o limite de horas extras permitidas pelo acordo individual de banco de horas, além de sobrecarregar o enfermeiro, que por sua vez precisa estar sempre atento e ser cauteloso durante o seu expediente de trabalho, já que sua profissão envolve a saúde de seus pacientes.
- Enfermeiros de 6 horas precisam ter uma quantidade de folgas equivalente a quantidades de domingos no mês, somando com a quantidade de feriados oficiais que não caíam no domingo; Esta Restrição permite que os enfermeiros tenham direito a mesma quantidade de descanso no mês que qualquer outro funcionário, pois mesmo que ele precise estar presente e trabalhando em seu setor durante um feriado, terá direito a um dia a mais de folga para compensá-lo.

4. Solução do problema

Para evitar que a lei Nº 13.467 seja violada, o algoritmo de escalonamento dos enfermeiros que trabalham em turnos diurno é processado separadamente dos enfermeiros que trabalham em turnos noturnos, fazendo com que se criem dois ambientes diferentes e

individuais para cada grupo, para assim impossibilitar completamente que um enfermeiro trabalhe em um turno diferente do seu turno contratual.

Garantir um número mínimo de enfermeiros a cada turno pode tornar o problema infactível. Por este motivo, será implementado uma estratégia para entregar uma solução que busca respeitar ao máximo tal restrição, mantendo o problema factível e ainda sendo possível gerar um resultado.

4.1. Variáveis de decisão

Para que seja possível a alocação de um enfermeiro em expedientes que começam em um dia e se encerram em outro, cada dia é dividido em dois períodos, totalizando um conjunto de 60 períodos em um mês de 30 dias.

Considere n o número de enfermeiros e m o número de períodos. Define-se a variável de decisão binária x_{ij} para $i = 1, \dots, n$ e $j = 1, \dots, m$ como segue

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o enfermeiro } i \text{ atua no período } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

A variável binária y_j a seguir é utilizada para recomendar que no mínimo dois enfermeiros estejam alocados em cada turno

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{se o dois ou mais enfermeiros estão atribuídos ao período } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

4.2. Parâmetros

Considere F_i o conjunto dos dias de folga solicitados pelo enfermeiro i . O conjunto $\bar{F}_i$ representa os dias de folgas obrigatórias (domingos e feriados). O parâmetro binário T_i representa o turno no qual o funcionário i trabalha, no qual assume o valor de 0 se o enfermeiro possui um contrato 12x36 e 1 se possui um contrato de 6 horas. O conjunto I será utilizado como um auxiliar para desenvolver algumas restrições e representa todos os números ímpares de 1 a m . O parâmetro D representa a quantidade de dias do mês no qual será gerado a escala. Para funcionários no contrato de 6 horas, será considerado o parâmetro R para representar a quantidade de folgas que esse funcionário deve ter durante o mês.

4.3. Função objetivo

A função objetivo busca maximizar os resultados da variável y_j , e penaliza o resultado para cada requisição de folga desrespeitada. É mais importante que a variável y_j prevaleça, por isso é necessário adicionar um peso à soma da mesma. Extensivos testes foram realizados para se definir o peso adequado. O valor de peso igual a 2 performou de maneira adequada para todas as instâncias testadas.

$$\max \sum_{j=1}^m 2y_j - \sum_{i=1}^n \sum_{j \in F_i} x_{ij} \quad (3)$$

4.4. Restrições

A restrição (4) garante que os funcionários com contratos 12x36 trabalhem sempre dois períodos seguidos, totalizando 12 horas, a restrição é feita da seguinte forma.

$$x_{ij} - x_{i,j+1} = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad j \in I, \quad T_i = 0 \quad (4)$$

A expressão (5) assegura que enfermeiros que trabalham 12 horas devem descansar por 36 horas.

$$x_{ij} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} + x_{i,j+3} \leq 2, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m - 4, \quad T_i = 0 \quad (5)$$

A restrição (6) determina que os enfermeiros que trabalham 6 horas, quando trabalharem um período, o próximo deve estar livre.

$$x_{ij} + x_{i,j+1} \leq 1, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m - 1, \quad T_i = 1 \quad (6)$$

A restrição (7) garante que os enfermeiros que trabalham 12 horas devem trabalhar L dias do mês.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = L, \quad j = 1, \dots, m, \quad T_i = 0 \quad (7)$$

A expressão (8) determina que os enfermeiros que trabalham 6 horas trabalhem a quantidade de dias do mês menos a quantidade de folgas.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = D - R, \quad j = 1, \dots, m, \quad T_i = 1 \quad (8)$$

A expressão (9) assegura que a variável y_j assumo valor 1 toda vez que a regra de no mínimo dois enfermeiros no setor for respeitada.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - 2y_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, m, \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

A expressão (10) restringe o funcionário i a trabalhar em folgas obrigatórias definidas anteriormente pelo usuário, em caso de feriados e domingos.

$$x_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad j \in \bar{F}_i \quad (10)$$

5. Experimentos computacionais

A fim de testar o modelo e para a futura utilização do mesmo em um ambiente real, foi desenvolvido um programa utilizando a linguagem de programação Python em conjunto com a biblioteca Python-MIP, que possui ferramentas para facilitar a programação linear inteira mista. Tal biblioteca permite a utilização de diferentes *solvers* de otimização. O *solver* utilizado neste projeto foi o COIN-OR *Linear Programming Solver*, o *solver open source* mais rápido disponível atualmente (PYTHON-MIP... , 2022).

As instâncias de teste foram elaboradas com base em uma amostra real de uma escala de enfermagem utilizada pela FAEPA, a fim de que o desempenho do modelo seja testado para situações reais. Tais dados são importados através de um arquivo CSV contendo todas as informações necessárias sobre o setor e os colaboradores.

O Modelo codificado também consome a biblioteca openpyxl, que é usada para ler, editar e criar planilhas em .xlsx manipuladas originalmente pelo Excel, as Figuras 1 e 2 a seguir mostram o modelo de entrada para a aplicação, produzido em Excel, contendo todas as informações necessárias, sendo elas, nomes dos enfermeiros, turno (0 para 12x36 e 1 para 6 horas), preferências de folga, folga obrigatória, total de dias no mês e a quantidade de folgas mínimas para enfermeiros de 6 horas.

Enfermeiro	Turno	Preferencia Folgas	Folga Obrigatoria	Dias mês	Folgas 6h
Rebekah	1	01,08,14,20	6	30	6
Nanci	0	03,10,19	13		
Aline	1	03,10,16,22,28	27		
Julio	1	02,09,15,21,27	20		
Marco	0	08,27,30	6		
Andre	0	09,28,23	13		
Talita	1	04,11,17,23,29	20		
Marina	1	05,12,18,24,30	27		
Ana	0	05,06,18	6		
Marta	0	06,11,12	13		

Figura 1. Entradas para cálculo diurno
Fonte: Autoria própria, 2022

Enfermeiro	Turno	Preferencia Folgas	Folga Obrigatoria	Dias mês
Afonso	0	03,11,12	20	30
Carlos	0	07,19,24	13	
Paulo	0	08,20,21	20	
Maria	0	09,10,14	6	
Suelen	0	22,26,28	6	
Yasmin	0	23,27,30	13	

Figura 2. Entradas para cálculo noturno
Fonte: Autoria própria, 2022

Em seguida, os dados de entrada são exportados no formato .csv para sejam importados e processados pela aplicação. Ao final do processamento, é retornado um arquivo .xlsx (Excel) com a escala resultante como apresentado nas Figuras 3 e 4.

Enfermeiro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Afonso	F	N	F	F	N	F	N	F	N	F	F	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F
Carlos	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	F	F	F	N	F	F	N	F	N
Paulo	N	F	F	N	F	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	F	N	F	N	F	N	F	F	F	N
Maria	N	F	N	F	N	F	F	N	F	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	F	N	F	N	F	F	N	F
Suelen	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	F	N	F	N	F	N	F	F	F	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F
Yasmin	N	F	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	F	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	N	F	F

Figura 3. Resultado para cálculo noturno
Fonte: Autoria própria, 2022

Enfermeiro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Rebekah	F	M	M	T	T	F	M	F	M	M	M	M	M	F	M	M	M	M	T	F	M	M	T	T	T	F	M	M	M	T
Nanci	D	F	F	D	F	D	F	D	F	F	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D
Aline	M	M	F	M	M	M	M	M	M	F	M	M	T	T	T	F	M	M	M	T	T	F	M	M	T	T	F	F	M	M
Julio	M	F	M	M	M	M	M	M	F	M	M	M	M	M	F	M	M	M	T	F	F	M	M	M	T	T	F	T	T	T
Marco	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F
Andre	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D
Talita	M	T	T	F	M	M	M	M	T	T	F	M	M	T	T	T	F	M	T	F	M	M	F	M	T	T	T	T	F	T
Marina	M	M	M	T	F	F	M	M	M	M	M	F	M	M	M	M	M	F	M	M	T	T	T	F	M	M	T	T	T	F
Ana	D	F	D	F	F	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F
Marta	D	F	D	F	D	F	F	D	F	D	F	F	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D

Figura 4. Resultado para cálculo diurno
Fonte: Autoria própria, 2022

Experimentos envolvendo quantidades diferentes de enfermeiros foram realizados através da criação de um gerador de instâncias programado em Python. Os experimentos foram realizados em um computador comum, equipado com um processador Intel Core i5-10500, 8 Gb de memória RAM e um Disco de Estado Sólido. O resumo dos resultados é apresentado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1. Resultados computacionais

Número de enfermeiros	6 Hrs	12 Hrs	Folgas atendidas	Tempo de processamento (s)
3	2	1	100% (9/9)	0.75
5	3	2	100% (15/15)	0.92
10	5	5	80% (24/30)	0.14
15	8	7	86.6% (39/45)	0.30
20	11	9	85% (21/60)	0.09
25	17	8	80% (60/75)	0.12
35	13	27	90.8% (109/120)	0.16
45	23	22	88.1% (119/135)	0.36
50	20	30	86.6% (133/150)	0.31
60	33	27	87.7% (158/180)	0.43

Pode-se observar que o tempo de processamento e a quantidade de folgas atendidas não é consideravelmente afetada pela quantidade de enfermeiros envolvidos e sim pelos dias de folgas escolhidos. O algoritmo tem êxito ao entregar a maior quantidade de folgas possíveis de acordo com o que foi solicitado sem violar nenhuma restrição em tempo de processamento baixo mostrando que a abordagem via método exato escolhida para este problema é adequada.

6. Considerações finais

Este projeto foi apresentado para a responsável pelo departamento de controle de frequência da sede de recursos humanos da FAEPA, encarregada de conferir as escalas elaboradas pelas chefias de enfermagem. A avaliação deste profissional é que a ferramenta facilita extremamente o processo de geração de escala e poderia ser aplicado em algumas situações reais dentro da empresa em setores que existem enfermeiros de escalas de 6 horas trabalhando paralelamente com enfermeiros de escalas 12 horas, como a Clínica Civil, Hospital das Clínicas, Hospital Estadual e MATER.

Trabalhos futuros contemplam a melhoria da formulação apresentada a fim de atender outros setores, tornando o modelo mais flexível. Além da implementação

de medidas para aumentar a satisfação dos funcionários em relação à escala. O desenvolvimento de uma formulação multiobjetivo que permita que o decisor tenha em mãos cenários com objetivos conflitantes, como por exemplo uma escala que prioriza o aumento de enfermeiros por turno e funcionários trabalhando em dias da semana de sua preferência, também está prevista.

Referências

- BURKE, E.; CAUSMAECKER, P. D.; BERGHE, G. V. *A Hybrid Tabu Search Algorithm for the Nurse Rostering Problem*. 1999. 187-194 p.
- BURKE, E. K. et al. The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling*, v. 7, p. 441–499, 11 2004. ISSN 1094-6136.
- EL-RIFAI, O. et al. A stochastic optimization model for shift scheduling in emergency departments. *Health care management science*, Springer, v. 18, n. 3, p. 289–302, 2015.
- FERREIRA, K. L. C.; DORNELES, A. P. *Escalonamento de Equipes de Enfermagem utilizando Simulated Annealing*. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/336926745>.
- İNANÇ, Ş.; ŞENARAS, A. E. Solving nurse scheduling problem via genetic algorithm in home healthcare. In: *Transportation, Logistics, and Supply Chain Management in Home Healthcare: Emerging Research and Opportunities*. [S.l.]: IGI Global, 2020. p. 20–28.
- JAFARI, H.; SALMASI, N. Maximizing the nurses' preferences in nurse scheduling problem: mathematical modeling and a meta-heuristic algorithm. *Journal of industrial engineering international*, Springer, v. 11, n. 3, p. 439–458, 2015.
- KANHIO, M. A. et al. A framework for nurse scheduling problems. *Available at SSRN 4085378*, 2022.
- KIRKPATRICK, S.; GELATT, C. D.; VECCHI, M. P. Optimization by simulated annealing. *Science*, v. 220, p. 671–680, 5 1983. ISSN 0036-8075.
- LIANG, B.; TURKCAN, A. Acuity-based nurse assignment and patient scheduling in oncology clinics. *Health care management science*, Springer, v. 19, n. 3, p. 207–226, 2016.
- MIGUEL, P. A. C. et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. *Rio de Janeiro: Elsevier*, 2010.
- PORTELLA, V.; DORN, M. Escalonamento de equipes de enfermagem utilizando busca tabu. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2014.
- PYTHON-MIP Documentation. 2022. Disponível em: <https://docs.python-mip.com/en/latest/intro.html>.
- VALDES, V. A. V. *Integrating Crew Scheduling and Rostering Problems*. 2010.
- YILMAZ, E. A mathematical programming model for scheduling of nurses' labor shifts. *Journal of medical systems*, Springer, v. 36, n. 2, p. 491–496, 2012.