

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL HEURÍSTICA PARA A CONSTRUÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO EM UM HOSPITAL PARTICULAR NO INTERIOR DE PERNAMBUCO

Gizele Laryssa Correia^b, Eduardo Fernando da Silva Souza^a, Walton Pereira Coutinho^{a,b,*},
Luciano Costa^{a,c,d}, José Xavier Cabezas García^e

^aPrograma de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste,

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru-PE, Brasil

^bCentro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru-PE, Brasil

^cDepartamento de Engenharia de Produção e LOG-UFPE, Universidade Federal da Paraíba(UFPB), João
Pessoa-PB, Brasil

^dPrograma de Pós-Graduação e Sistemas, Universidade Federal da Paraíba(UFPB), João Pessoa-PB, Brasil

^eEscuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-GA, Equador

Recebido 28/02/2025, aceito 08/09/2025

RESUMO

Em qualquer hospital ou instituição de saúde, a equipe de farmácia hospitalar exerce um papel fundamental na assistência aos pacientes ao garantir o fornecimento controlado e seguro de materiais e medicamentos para os demais serviços assistenciais. Portanto, o escalonamento adequado de profissionais nessa área é essencial para um funcionamento eficiente de todo o hospital. Neste trabalho, apresenta-se uma ferramenta de software desenvolvida para construir e otimizar escalas de trabalhadores do setor de farmácia de um hospital particular no Agreste Pernambucano. Para isso foi desenvolvido um algoritmo heurístico, baseado em *Relax-and-Fix*, para a otimização das escalas de trabalho. Os resultados obtidos demonstram que o software desenvolvido é capaz de gerar escalas de maneira eficiente, com pouco esforço computacional. Através do estudo de caso no referido hospital, demonstra-se as vantagens e resultados positivos alcançados através da utilização da ferramenta desenvolvida.

Palavras-chave: Farmácia Hospitalar, Escalonamento de funcionários, *Heurística*.

ABSTRACT

At any hospital or healthcare facility, pharmacy staff plays a crucial role in patient care, ensuring the controlled and safe distribution of materials and medications to other care services. Thus, proper scheduling of professionals in this area is essential for the efficient operation of the entire hospital. This paper presents the development of a software tool to construct and optimize the work schedules of pharmacy sector workers at a private hospital in the Agreste region of Pernambuco. A heuristic algorithm based on Relax-and-Fix is employed to optimize these schedules. The results show that the proposed software and algorithms can efficiently generate schedules with minimal computational effort. A case study at the hospital illustrates the advantages and positive outcomes achieved through the use of this tool.

Keywords: Hospital Pharmacy, Workforce Scheduling, Mathematical Programming.

* Autor para correspondência. E-mail: walton.coutinho@ufpe.br

DOI: <https://doi.org/10.4322/PODes.2025.007>

1. Introdução

Na sociedade brasileira, as instituições hospitalares desempenham um papel de extrema importância social e econômica. Gerenciar um hospital apresenta desafios únicos em comparação a outras organizações, devido à sua estrutura organizacional complexa, à natureza dos serviços prestados e às restrições financeiras (Tucker, 2004). Um dos desafios mais complexos na gestão hospitalar é a definição dos turnos de trabalho dos colaboradores, uma vez que isso é condicionado pelas disponibilidades, habilidades e funções específicas de cada membro da equipe. Mais especificamente, a disponibilidade de pessoal no momento certo é um fator importante para a satisfação dos pacientes em organizações de saúde. Desta forma, a implementação de um sistema de escalonamento automatizado pode levar a melhorias significativas na gestão de recursos hospitalares, na satisfação da equipe e dos pacientes, além de reduzir custos e a carga administrativa.

Diversas técnicas matemáticas têm sido aplicadas na pesquisa operacional para lidar com Problemas de Escalonamento de Pessoal (PEPs), tais como Programação Linear (PL), Programação Inteira Mista (PIM) e modelagem estocástica (Silva, 2017; Gilgen, 2008; Smet et al., 2012; Scaraficci, 2017). Uma análise de 190 artigos sobre PEPs no contexto da gestão de recursos de saúde realizada por Abdalkareem et al. (2021) destacou diversas aplicações, como agendamento de admissão de pacientes, escalas de enfermeiros, escalas de médicos e agendamento de salas de operações. Outros estudos, como os de Han et al. (2018); Keramati et al. (2020); Amindoust et al. (2021); Beaulieu et al. (2000), utilizaram técnicas de otimização para resolver PEPs em diferentes contextos de saúde, demonstrando os benefícios dessas abordagens para pacientes, profissionais de saúde e gestores. Estudos correlatos, como o de Spry e Lawley (2005), que propõe um modelo de simulação para programação de trabalho em uma farmácia comercial, e o de Wright et al. (2021), que revisa escalas de trabalho de farmacêuticos hospitalares, evidenciam as lacunas e oportunidades existentes para aplicação de técnicas de otimização no contexto da farmácia hospitalar.

Apesar das várias aplicações em diversas áreas da saúde, como enfermagem e medicina, a área da farmácia hospitalar ainda carece de estudos e aplicações no contexto do PEP. Este estudo se concentra em uma extensão, focada na alocação dos funcionários da farmácia hospitalar no maior hospital particular do Agreste Pernambucano. A área de farmácia hospitalar apresenta alguns desafios não encontrados em outras aplicações. Um dos principais motivos é que no hospital em questão, o planejamento abrange várias farmácias satélite e diferentes tipos de funcionários. Cada farmácia possui uma demanda específica em relação à quantidade e ao tipo de profissionais necessários para seu pleno funcionamento. Além disso, os funcionários podem estar vinculados a diferentes regimes de trabalho, os quais devem respeitar rigorosamente a legislação trabalhista relacionada à jornada e aos turnos. O que reforça a complexidade e a necessidade de um tratamento diferenciado.

O presente trabalho amplia o estudo de Souza et al. (2025) ao desenvolver uma heurística *Relax-and-Fix* (RF) para a resolução do PEP de forma computacionalmente eficiente. Apresenta-se também o processo de desenvolvimento de um *software* que considera o algoritmo desenvolvido para a gestão de pessoal no hospital em questão. A aplicação de um algoritmo de otimização permite a automatização desse processo, reduzindo significativamente o tempo necessário para a tomada de decisão, promovendo alocações mais eficientes e garantindo o cumprimento das restrições operacionais, algo que raramente se atinge com métodos manuais. Essa abordagem também possibilita a geração de diferentes cenários, o que contribui para melhorar o processo decisório e fornece maior flexibilidade à gestão hospitalar. Espera-se que essa abordagem contribua para o avanço e aprimoramento das práticas de gestão em instituições de saúde, fornecendo *insights* e diretrizes para uma alocação eficiente e eficaz do pessoal de farmácia hospitalar. Conforme destacado por Absi e van den Heuvel (2019), a aplicação da heurística *Relax-and-Fix* (RF) mostra-se promissora na resolução de problemas de programação inteira mista com aspectos temporais (Kelly e Mann, 2004; Correa et al., 2020). Por esse motivo,

na resolução dos PIMs considerados neste trabalho, foi implementada uma heurística RF, que é do tipo construtiva, ou seja, a solução é construída gradualmente. O restante do trabalho está estruturado como se segue. Na Seção 2, apresenta-se uma revisão do estado-da-arte em problemas relacionados ao aqui estudado. Na Seção 3, é explicado o desenvolvimento do algoritmo heurístico RF. Os resultados computacionais de experimentos realizados com o RF são apresentados na Seção 4. No sua vez, na Seção 5, apresenta-se o estudo de caso, o desenvolvimento do *software* e uma discussão dos impactos da aplicação da ferramenta no contexto hospitalar. Por fim, este artigo é concluído na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados

2.1. O Problema de Escalonamento de Pessoal

O PEP, também conhecido como (*personnel scheduling*), é um problema de otimização que envolve a atribuição eficiente de funcionários a tarefas específicas, levando em consideração restrições como disponibilidade de tempo, qualificações necessárias, preferências pessoais e demanda de trabalho. Esse problema é amplamente encontrado em diversos setores, como empresas, indústrias, hospitais, escolas e outras organizações que necessitam alocar recursos humanos de forma eficiente (Ingels e Maenhout, 2015; Dück et al., 2012; Gross et al., 2017). Dessa forma, muitos métodos exatos têm sido recomendados na literatura para construção de escalas, utilizando alguma forma de decomposição para facilitar a resolução dessa complexa classe de problemas. Essas metodologias, como *Branch-and-Bound*, *Branch-and-Cut* e Geração de Colunas, aplicam a decomposição em fases que solucionam partes específicas do problema original e diferem nas restrições e/ou objetivos que consideram (Burke et al., 2004; Bergh et al., 2013; Dorne, 2008; Ernst et al., 2004a,b).

A temática ainda pode ser identificada em vários outros trabalhos e pesquisas com diferentes características. PEPs podem ser encontrados em diversos contextos de serviços como na designação de equipes para manutenção de iluminação pública (Silva, 2017), na alocação e escala de professores para lecionar disciplinas (Filho, 2016), na construção de escalas de operadores de máquinas em terminais portuários (Gilgen, 2008), na determinação de escalas de serviço de enfermagem (Smet et al., 2012; Hassani et al., 2020), no escalonamento de atividades florestais (Scaraficci, 2017), da definição de escalas de médicos em hospitais (Devesse et al., 2019; Fressato et al., 2017), na programação de escalas de maquinistas para uma ferrovia de carga geral (Zanetti e da Silva Junior, 2019), na programação de equipes de certificação de unidades fixas de cimentação (Moreira et al., 2016), na programação de equipes de voluntários para atuar em organizações não-governamentais (Silva Neto et al., 2024), entre outros. A literatura também apresenta estudos sobre algoritmos para a geração de escalas, com uma maior aplicabilidade na área de sistemas de transporte (Ernst et al., 2004b; Bergh et al., 2013). Abordagens baseadas em programação matemática e heurísticas são comumente utilizadas na literatura para resolver o PEP (Bergh et al., 2013). A literatura em PEPs é vasta, o que reforça a relevância destes problemas. Recomenda-se para o leitor interessado os trabalhos de Ernst et al. (2004a,b) e Bergh et al. (2013).

2.2. Escalonamento de Pessoal no Contexto da Saúde

O escalonamento de pessoal no contexto da saúde é um problema fundamental para a gestão eficiente das instituições, e sua otimização pode melhorar significativamente a alocação de pessoal na área da saúde. Vários estudos têm sido realizados para resolver PEPs em diferentes contextos da saúde, incluindo o escalonamento de enfermeiros, escala de médicos e escalas de técnicos de laboratório clínico (Han et al., 2018; Keramati et al., 2020; Amindoust et al., 2021; Beaulieu et al., 2000). Na literatura especializada, verifica-se a utilização de modelos de programação matemática e meta-heurísticas na resolução de problemas relacionados à gestão de cuidados de saúde. Essas abordagens têm sido empregadas em diversos contextos, tais como a admissão de

pacientes, a definição de escalas para enfermeiros, o agendamento de salas de operação, entre outros desafios de otimização no setor (Abdalkareem et al., 2021; Han et al., 2018; Keramati et al., 2020; Amindoust et al., 2021; Beaulieu et al., 2000; Burke et al., 2004; Wright et al., 2021). Alguns desses estudos consideram diferentes objetivos, como a minimização dos custos operacionais e a maximização da satisfação dos funcionários.

Apesar dos benefícios proporcionados pela otimização do escalonamento de pessoal, enfrentam-se desafios significativos, como a necessidade de coleta de dados precisa e a necessidade de adaptar os modelos às especificidades de cada unidade de saúde. Tais desafios demandam esforços contínuos no sentido de refinar as técnicas de otimização e desenvolver soluções personalizadas para as escalas de pessoal no âmbito da saúde. Especificamente no contexto das farmácias hospitalares, a aplicação de modelos de alocação de pessoal é limitada. Spry e Lawley (2005) sugere um modelo de simulação para auxiliar na gestão de farmácias varejistas, focando nas decisões relativas aos funcionários e suas escalas. Um estudo relevante de Wright et al. (2021) revisa as escalas de trabalho dos farmacêuticos, visando aprimorar a conciliação entre a vida profissional e pessoal dos farmacêuticos e melhorar o atendimento ao paciente

3. Metodologia

O estudo foi realizado em um hospital particular situado no Agreste de Pernambuco, com sede em Caruaru. O hospital contém uma farmácia geral, responsável por suprir todo o hospital, e oito farmácias satélite localizadas estrategicamente nos setores mais importantes, como oncologia, pediatria, UTI, entre outros. O setor de farmácia é composto por 90 funcionários distribuídos nas oito farmácias satélite, em dois turnos diários de 12 horas cada, durante o período de um mês. Os funcionários são divididos em três diferentes tipos de funções: *farmacêuticos*, *auxiliares* e *assistentes*. A elaboração de escalas de pessoal neste ambiente hospitalar é uma tarefa fundamental, pois é responsável por distribuir os trabalhadores em diferentes turnos de trabalho, levando em consideração as normas trabalhistas e as preferências individuais dos colaboradores.

A coleta dos dados utilizados neste trabalho ocorreu entre os meses de Janeiro e Fevereiro de 2022, começando com uma conversa informal para identificar os principais requisitos e parâmetros utilizados pelo gestor na construção das escalas da equipe da farmácia. Com base nessa conversa inicial, foi realizada uma entrevista semiestruturada e observação com a assistente administrativa responsável pela construção da escala, com registros no diário de campo.

As entrevistas foram realizadas com o Gerente de Suprimentos e Farmácia do hospital e com sua assistente. É importante mencionar que a coleta de dados não se encerrou com a finalização das entrevistas, mas sempre que necessário, novos contatos foram mantidos para melhor compreensão dos dados. Por meio de conversas informais, registro de campo e entrevistas, foram identificados requisitos importantes na construção da escala, como sexo, faixa etária, tempo de empresa, função do trabalhador e perfil necessário para cada farmácia.

Diante desses pontos, foi elaborado um formulário online com sete perguntas para que o gestor respondesse de forma mais assertiva sobre o perfil e quantidade dos tipos de trabalhadores requeridos para cada farmácia. Após a resposta do gestor, foi feito um novo formulário de perfil de colaborador por farmácia que foi desenvolvido com base nas respostas do gestor. Esse formulário possuía oito questões e também foi realizado de forma online, e obteve-se 100% de respostas por parte dos funcionários. As perguntas dos formulários seguiram os requisitos identificados e citados anteriormente.

Além do formulário, foi aplicado um teste de personalidade em um site online com os colaboradores. O teste foi indicado para ter uma maior assertividade do perfil dos colaboradores e ter uma melhor diversidade dentro das equipes. Essas informações permitiram estabelecer um sistema de notas mais justos que avaliou a adequação de cada trabalhador para cada farmácia. Com a análise comparativa dos dados, foram obtidos *scores* que refletiram as preferências e habilidades

de cada colaborador para cada farmácia, contribuindo para a criação de um modelo de escala de trabalho eficiente e personalizado. Para obter os *scores* por farmácia, foi realizado um processo de normalização dos dados obtidos a partir dos questionários aplicados tanto aos gestores quanto aos colaboradores. A normalização dos dados foi conduzida utilizando um dos pacotes disponíveis na biblioteca do *scikit-learn*, que permite o pré-processamento e normalização de diversos tipos de dados. Durante esse procedimento, o questionário do gestor foi utilizado como referência para validar a normalização.

Após a etapa de normalização, foi efetuado o cálculo da média dos escores por perfil de trabalhador em cada farmácia. Esse cálculo considerou a pontuação atribuída pelo gestor a um determinado perfil de trabalhador em uma farmácia específica, juntamente com a pontuação baseada nas respostas fornecidas pelo próprio colaborador. Desse modo, os valores dos *scores* foram determinados para cada colaborador, levando em conta a respectiva farmácia em que atuam. Além disso, foram identificadas as principais restrições que deveriam ser consideradas na elaboração da escala de modo a garantir o cumprimento das normas legais e regulamentares da empresa. Dentre as restrições relevantes, destacam-se: Regime de Plantão, Alocação, Folgas por tipo de trabalhador, Permanência do trabalhador na farmácia, Cobertura ideal por farmácia, Turnos de alocação pelo contrato de trabalho e a nota do *score*.

3.1. Formulação Matemática

Souza et al. (2025) introduzem um modelo baseado em PIM para abordar o problema descrito anteriormente. O modelo investigado busca maximizar uma soma ponderada do *score* total de alocação e o balanceamento da carga de trabalho alocada por funcionário, sujeito a restrições de número e tipo necessário de funcionários por farmácia satélite e folga dos funcionários segundo a legislação. O conjunto W representa o conjunto de funcionários do setor de farmácia do hospital. P representa o conjunto de farmácias satélite. S representa o conjunto de turnos de trabalho ao longo do horizonte de planejamento. Cada turno tem duração de 12h, portanto a quantidade total de turnos é igual ao dobro do tamanho do horizonte de planejamento, sendo este determinado em quantidade de dias. S_i^{off} representa o conjunto de turnos que o trabalhador $i \in W$ está de folga no início do horizonte de turnos. T denota o conjunto dos tipos de trabalhadores, em que $T = \{0, 1, 2\}$, com 0 correspondendo aos farmacêuticos, 1 aos assistentes e 2 aos auxiliares. Por fim, W_t é o conjuntos dos trabalhadores do tipo t . Foi definido as seguintes variáveis de decisão:

- x_{ijk} : Variável binária que assume valor 1 se o trabalhador $i \in W$ é alocado no turno $j \in S$ na farmácia $k \in P$, ou 0, caso contrário.
- y_{ik} : Variável binária que assume valor 1 se o trabalhador $i \in W$ é alocado à farmácia $k \in P$, ou 0, caso contrário.
- z : Variável real que calcula o número máximo de turnos que um trabalhador pode estar alocado.

O modelo também considera quatro parâmetros de entrada: a_{ij} , um valor binário que assume 1 se o trabalhador $i \in W$ está apto a trabalhar no turno $j \in S$ e 0 caso contrário; b_{ik} , que representa o *score* da alocação do trabalhador $i \in W$ na farmácia $k \in P$; s_t^{off} , que indica o número de turnos de folga para trabalhadores do tipo $t \in T$; e n_{jkt} , que representa a demanda de trabalhadores do tipo $t \in T$ na farmácia $k \in P$, no turno $j \in S$.

Para maior clareza, reapresentamos a seguir a formulação proposta por Souza et al. (2025).

$$\min \quad z + \sum_{i \in W} \sum_{k \in P} b_{ik} y_{ik} \quad (1)$$

$$\text{s.a} \quad z \geq \frac{1}{s_t^{\text{off}}} \sum_{j \in S} \sum_{k \in P} a_{ij} x_{ijk} \quad \forall t \in T, i \in W_t \quad (2)$$

$$\sum_{k \in P} a_{ij} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in W, j \in S \quad (3)$$

$$a_{ij} x_{ijk} \leq y_{ik} \quad \forall i \in W, j \in S, k \in P \quad (4)$$

$$\sum_{k \in P} y_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in W \quad (5)$$

$$\sum_{i \in W_t} a_{ij} x_{ijk} = n_{jkt} \quad \forall j \in S, k \in P, t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{k \in P} \sum_{j \in S_h} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall t \in T, i \in W_t, h \in \{0, \dots, |S| - s_t - 1\} \quad (7)$$

$$\sum_{j \in S_i^{\text{off}}} x_{ijk} = 0 \quad \forall i \in W : |S_i^{\text{off}}| > 0, k \in P \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in W, j \in S, k \in P \quad (9)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in W, k \in P \quad (10)$$

$$z \geq 0 \quad (11)$$

A função objetivo busca minimizar o número máximo de turnos nos quais um trabalhador é alocado em uma mesma farmácia, ao mesmo tempo em que se busca maximizar a alocação conforme a prioridade atribuída a cada unidade. Essa otimização é realizada respeitando as restrições relacionadas à demanda de pessoal em cada farmácia, à carga horária total e ao número de folgas previstas para os trabalhadores. Para mais detalhes sobre esta formulação, recomenda-se a leitura do trabalho de Souza et al. (2025).

3.2. Relax-and-Fix

Nessa abordagem, o problema é decomposto em subproblemas menores, facilitando sua resolução. Essa decomposição pode ser feita com base em alguma dimensão específica que defina os índices das variáveis do problema. No caso, o problema poderia ser decomposto por trabalhador, por farmácia ou por turno (*shift*), de modo que, a cada iteração, o método resolveria um subproblema associado a algum desses elementos. Especificamente neste trabalho, optou-se por decompor o problema por turno (ou período). Assim, a cada iteração, resolve-se um subproblema relacionado à programação de horários para um conjunto limitado de turnos. Dessa forma, o método busca definir a programação de horários de maneira sequencial, solucionando cada etapa de forma independente, mas alinhada ao problema global. Antes de detalhar a heurística, é importante definir a notação utilizada:

- m : Representa o número total de períodos no horizonte de planejamento S . Ou seja, $m := |S|$, em que S é o conjunto de todos os turnos de trabalho ao longo do horizonte.
- IJ : É o índice que indica o início da janela atual no horizonte de planejamento, isto é, a janela contendo os índices associados com as variáveis que serão consideradas na resolução do sub-problema. A cada iteração, IJ marca o primeiro período da janela que será resolvida.
- FJ : É o índice que indica o fim da janela atual no horizonte de planejamento.
- J : É o tamanho fixo da janela, ou seja, o número de períodos que serão considerados em cada iteração (subproblema). A janela $[IJ, FJ]$ tem tamanho J , de modo que $FJ = IJ + J - 1$.

- α : É o tamanho do passo de deslocamento da janela. Após cada iteração, a janela é deslocada α períodos para a direita no horizonte de planejamento.
- ℓ : Representa o número de iterações realizadas pelo algoritmo. A cada iteração ℓ , a janela $[IJ, FJ]$ é deslocada α períodos, de modo que:

$$IJ \leftarrow IJ + \alpha \quad \text{e} \quad FJ \leftarrow \min(IJ + J - 1, m).$$

Com essa notação estabelecida, pode-se descrever a heurística de horizonte deslizante, que opera particionando as variáveis inteiras x_{ijk} em três subconjuntos para resolver esse problema:

1. **Variáveis Fixadas ($\mathcal{F}$):** Variáveis x_{ijk} tais que $j \in [1, IJ - 1]$ são fixadas com base em soluções obtidas em iterações anteriores, apenas as variáveis inteiras são fixadas;
2. **Variáveis Inteiras ($\mathcal{I}$):** Variáveis x_{ijk} tais que $j \in [IJ, FJ]$ são restritas a valores inteiros (binários, neste caso);
3. **Variáveis Relaxadas ($\mathcal{R}$):** Variáveis x_{ijk} tais que $j \in [FJ + 1, m]$ têm suas restrições de integralidade relaxadas, permitindo valores contínuos no intervalo $[0, 1]$.

O Algoritmo 1, descreve o método RF desenvolvido para resolver problemas com grandes horizontes temporais.

Os dados de entrada são os valores das variáveis x_{ijk} e y_{ik} , obtidos através da solução relaxação linear da Formulação (1)–(11) em relação às variáveis x_{ijk} .

Enquanto isso, as variáveis y_{ik} mantêm seu domínio binário original ($y_{ik} \in \{0, 1\}$). O bloco de tamanho J é avançado para $[IJ, FJ]$, com os valores de IJ e FJ sendo atualizados conforme o passo α e o problema é resolvido novamente. Nesta etapa, os valores da janela $\mathcal{F}$ são fixados. O método continua até que uma solução viável tenha sido encontrada, ou se o tempo limite t_{limite} de 3600 segundos tenha sido excedido, ou quando ficar provado que uma solução viável não existe.

Cada um dos subproblemas definidos na janela $[IJ, FJ]$ é resolvido utilizando um *solver* de PIM. Em uma dada iteração, caso o *solver* não consiga encontrar uma solução viável para o subproblema $[IJ, FJ]$, o algoritmo realiza um retrocesso (*backtracking*). Neste processo, o tamanho da janela é aumentado temporariamente $[IJ - 1, FJ]$. Isso permite que o *solver* processe novamente as variáveis no intervalo expandido, tentando encontrar uma solução alternativa. Se a inviabilidade persistir, o procedimento é interrompido, e o problema original é considerado inviável. Esse mecanismo de *retrocesso* é essencial para garantir que a heurística explore diferentes regiões do espaço de soluções, aumentando as chances de encontrar uma solução viável mesmo em cenários complexos.

Algoritmo 1: Relax-and-Fix

Data: Modelo com variáveis $x_{ijk} \in \mathbb{R}_+$ e $y_{ik} \in \{0, 1\}$
Result: Solução viável $\mathcal{X}$ ou indicação de inviabilidade

```

1  $X_{\text{sol}} \leftarrow \emptyset$ ; // Solução parcial contendo os valores já
   definidos de  $x_{ijk}$ 
2  $IJ \leftarrow 1$ ;
3  $FJ \leftarrow \min(IJ + J - 1, m)$ ;
4 while  $IJ \leq m$  e tempo atual  $< t_{\text{limite}}$  do
5   Para todo  $x_{ijk}$ : definir  $x_{ijk} \in \mathbb{R}_+$ ; // Inicialmente, todas são
   relaxadas
6   Tornar binárias as variáveis  $x_{ijk}$  para  $j \in [IJ, FJ]$ ;
7   Fixar as variáveis  $x_{ijk}$  com  $j < IJ$  utilizando os valores armazenados em  $X_{\text{sol}}$ ;
8    $\mathcal{X} \leftarrow$  Resolver subproblema relacionado;
9   if  $\mathcal{X}$  é viável then
10    Atualizar  $X_{\text{sol}}$  com os valores de  $x_{ijk}$ ;
11     $IJ \leftarrow IJ + \alpha$ ;
12     $FJ \leftarrow \min(IJ + J - 1, m)$ ;
13  else
14    if  $IJ > 1$  then
15       $IJ \leftarrow IJ - 1$ ;
16       $FJ \leftarrow \min(IJ + J - 1, m)$ ;
17    else
18      return Problema considerado inviável;
19 return  $\mathcal{X}$ ;

```

Para facilitar a compreensão do funcionamento da heurística RF, a Figura 1 ilustra como o algoritmo funciona na separação de blocos das variáveis inteiras do modelo dentro de um horizonte de tempo definido. As variáveis são divididas em três grupos: (i) um conjunto de variáveis fixadas, (ii) um conjunto de variáveis binárias, e (iii) um conjunto no qual a integralidade das variáveis é relaxada, ou seja, volta a ser uma variável de decisão. A princípio, todas as variáveis estão relaxadas. A cada iteração, o bloco de variáveis inteiras e fixadas avançam no horizonte em passos determinados. As variáveis que eram inteiras na iteração anterior são fixadas. Quando o conjunto de variáveis relaxadas fica vazio, uma solução viável inteira é encontrada e o procedimento termina, conforme é demonstrado na figura abaixo.

Na Figura 1, a parte (1) ilustra a heurística RF aplicada no problema de otimização com variáveis inteiras mistas. No início do processo (Iteração $\ell - 1$), um subconjunto das variáveis tem seu domínio determinado em binário, ou seja, seus valores são determinados como 0 ou 1. As variáveis restantes são relaxadas, permitindo que assumam valores contínuos entre 0 e 1. Este processo é o anterior ao inicial, que é quando todas as variáveis estão relaxadas.

O procedimento avança para a iteração ℓ , onde o bloco de variáveis binária dá um passo de tamanho α , e as variáveis que foram binárias nas iterações anteriores, e não pertencem ao conjunto do bloco, são fixadas em seus valores pré estabelecidos e o resto segue relaxado. Em cada nova iteração, um novo subconjunto de variáveis binárias é escolhido e as anteriores são fixadas. As variáveis que ainda não foram fixadas continuam sendo relaxadas. Na Iteração $\ell + 1$, o processo continua de forma semelhante. As variáveis já determinadas anteriormente continuam fixas, enquanto um novo grupo de variáveis binárias é determinado. As variáveis restantes ainda não determinadas são relaxadas mais uma vez.

Esse método continua até que todas as variáveis binárias tenham sido fixadas, resultando em uma solução completa para o problema. A linha do tempo na imagem mostra a progressão dessas iterações ao longo do tempo. Porém, se durante uma iteração o *solver* não conseguir encontrar

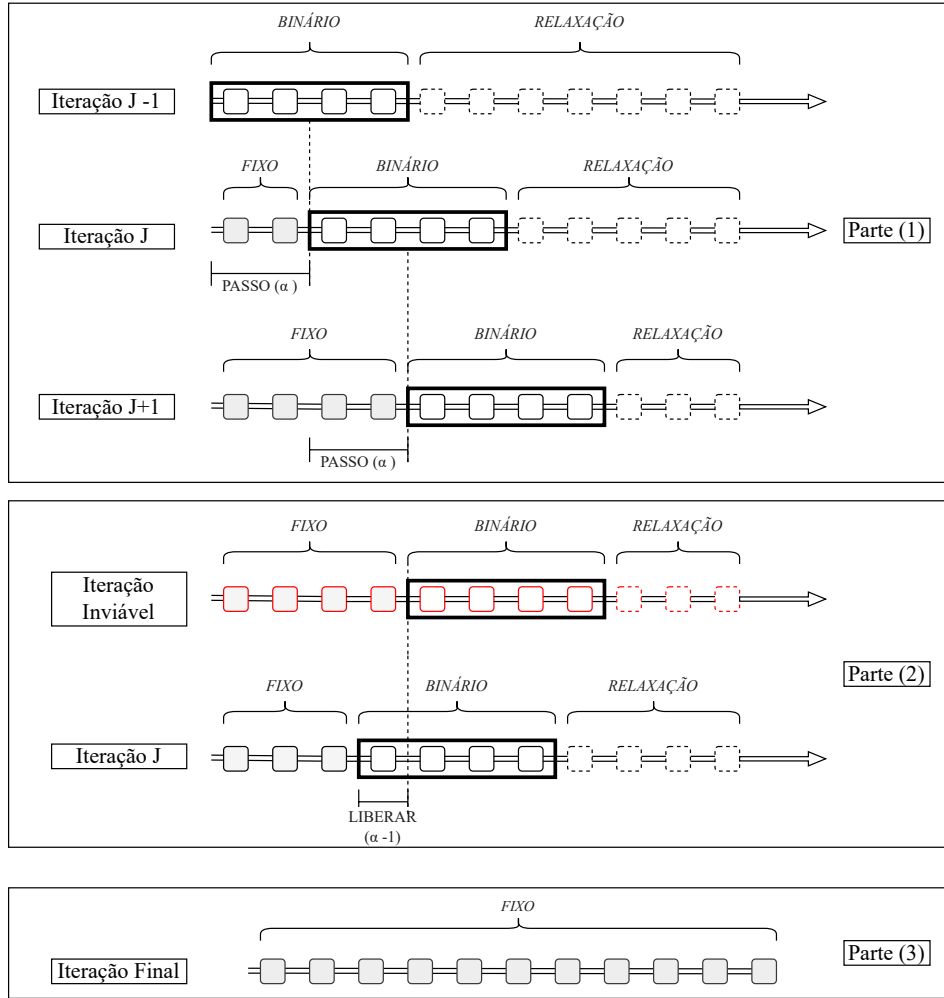


Figura 1: Ilustração da heurística RF, mostrando a evolução das iterações. Em cada etapa, o conjunto de variáveis x_{ijk} é particionado em três subconjuntos. Um é fixado nos turnos correspondentes no horizonte, outro é tratado como binário, e o restante é relaxado. O processo avança de forma iterativa até a obtenção da solução final, podendo incluir a liberação de variáveis caso a solução se torne inviável. Ao final, todas as variáveis x_{ijk} estarão fixadas.

uma solução viável, a heurística aplica uma metodologia de *retrocesso*. Esse *retrocesso* verifica a viabilidade da solução a cada iteração. Caso a solução não seja viável, o passo α é reduzido para $\alpha - 1$, desfazendo a última fixação de variáveis. Após esse *retrocesso*, a heurística tenta novamente encontrar uma solução viável, solucionando um novo subconjunto de variáveis binárias e relaxadas. Se a solução viável for encontrada, o processo continua normalmente com as próximas iterações. Caso contrário, o procedimento de *retrocesso* é repetido até que uma solução viável seja alcançada. A Figura 1 na parte (2) exemplifica como o procedimento funciona, mostrando o processo em uma iteração específica na qual a solução encontrada é inviável. O algoritmo termina depois que todas as variáveis são fixadas na solução viável como mostra na Figura 1, na parte (3).

De modo geral, à medida que os índices $j + 1$, $j + 2$, e assim sucessivamente, avançam, ocorre a progressão incremental dos passos, sendo cada um de tamanho α . Inicialmente, parte-se do índice j , seguido por um incremento de um passo ($j + 1$), depois mais um passo, e assim por diante. Caso a realização de um passo resulte em uma solução inválida, o tamanho do passo

α é reduzido em uma unidade ($\alpha - 1$), e o processo é repetido até que uma solução válida seja encontrada. As principais vantagens da aplicação da heurística RF incluem a redução do tempo de cálculo na resolução do problema, uma vez que a decomposição em blocos diminui a quantidade de variáveis e restrições tratadas simultaneamente pelo *solver*. Além disso, esta abordagem permite ajustes dinâmicos, como a liberação de soluções previamente fixadas em caso de inviabilidades. Mesmo que um bloco individual não possua solução viável, a heurística é capaz de se recuperar por meio da aplicação de um procedimento de retrocesso, que visa corrigir o problema e garantir a viabilidade global da solução.

4. Experimentos Computacionais

A implementação do algoritmo foi realizada utilizando a linguagem Python por meio da biblioteca Pyomo. Os experimentos computacionais foram realizados em um computador Lenovo Ideapad 320, equipado com processador Intel Celeron N3350 de 1.10 GHz e 4.0 GB de memória RAM, em conjunto com o sistema operacional Windows 10 de 64 bits. Além disso, a resolução dos subproblemas do RF foi feita por meio do *solver* IBM ILOG CPLEX 20.1.0. A escalabilidade do RF proposto foi avaliada por meio de testes em uma instância real e em um conjunto de instâncias artificiais geradas por Souza et al. (2025).

Métrica	Valor (segundos)
Mínimo	2,41
Primeiro Quartil (1st Qu.)	5,16
Mediana	11,68
Média	780,29
Terceiro Quartil (3rd Qu.)	539,60
Máximo	3634,58

Tabela 1: Estatísticas dos tempos de processamento da heurística RF.

Os dados estatísticos na Tabela 1 contém informações sobre o tempos de processamento da heurística RF mostram que o tempo mínimo de resolução foi de 2,41 segundos, enquanto o tempo máximo atingiu 3634,58 segundos. A mediana dos tempos de processamento foi de 11,68 segundos, indicando que metade das instâncias foi resolvida em menos de 12 segundos. A média dos tempos de processamento foi de 780,29 segundos, demonstrando a influência de algumas instâncias, que demandaram um tempo significativamente maior. O primeiro quartil (5,16 segundos) e o terceiro quartil (539,60 segundos) evidenciam que 25% das instâncias foram resolvidas em menos de 5 segundos, enquanto 75% das instâncias foram resolvidas em menos de 540 segundos.

A performance da heurística RF proposta foi comparada ao modelo na Figura 2. No eixo horizontal encontram-se as instâncias testadas e, no vertical, o tempo de resolução em segundos. Em cada caso, W representa o número de trabalhadores, S os turnos e P as farmácias. Os valores indicam as dimensões das instâncias, criadas com base em dados reais, conforme demonstrado na Figura 2. As instâncias foram geradas a partir do procedimento descrito por Souza et al. (2025), considerando demandas variadas para diferentes tipos de farmácia.

Observa-se que a heurística requer um esforço computacional substancialmente menor na maioria das instâncias testadas e que o RF alcança resultados satisfatórios. Em grande parte dos casos, nota-se uma significativa redução no tempo de resolução necessário pela heurística para solucionar instâncias de grandes dimensões, em comparação com a resolução do modelo completo. Em boa parte das instâncias, o modelo ultrapassou o tempo limite de processamento pré-estabelecido.

Vale ressaltar que, para as instâncias W360-S180-P9, W360-S180-P10, W360-S118-P10, W270-S118-P14 e W360-S730-P10, o CPLEX foi incapaz de

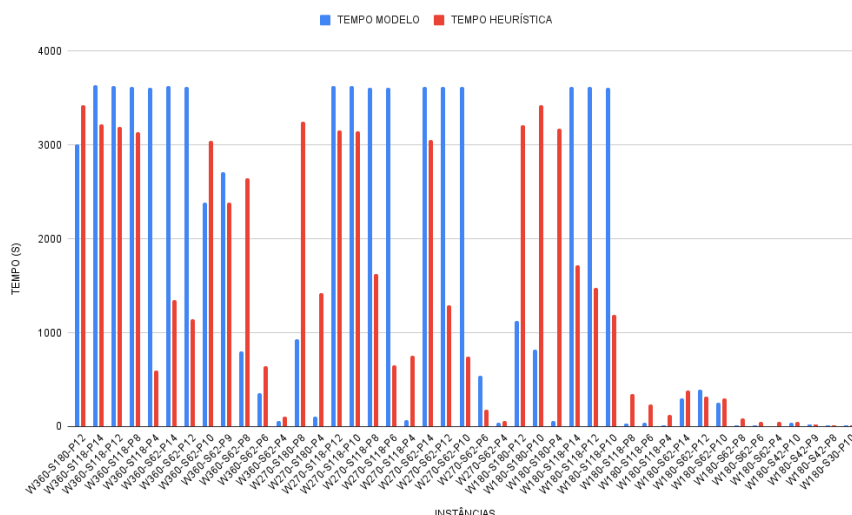


Figura 2: Comparação do tempo de execução da heurística RF e da resolução do modelo proposto por Souza et al. (2025).

encontrar soluções viáveis dentro do limite computacional estabelecido de 3600 segundos no modelo sem a heurística. Por outro lado, com a implementação da heurística, foi possível obter uma solução em tempo hábil. A heurística RF demonstrou eficiência na maioria dos casos em termos de tempo computacional e respeitou o limite de tempo em todos os casos, com 75% das instâncias sendo resolvidas em menos de 540 segundos. A presença de alguns casos que demandaram mais tempo (conforme a média e o valor máximo) não compromete a eficácia geral da heurística. A mediana de 11,68 segundos reforça que a heurística é uma abordagem viável para a resolução de problemas de grande dimensão. Os experimentos de coleta dos tempos de processamento e dos valores da função objetivo, tanto para o modelo exato quanto para a abordagem heurística, foram realizados em um equipamento com as seguintes especificações: processador Intel Core i7-4790 (quatro núcleos e oito threads, com frequência máxima de 4.0GHz), 20 GB de memória RAM, sistema operacional Ubuntu 20.04.6 LTS (kernel 5.15.0-139), unidade de armazenamento em SSD e ambiente gráfico GNOME 3.36.9.

A Tabela 2 apresenta os valores de GAP percentual entre a função objetivo resultante da heurística e aquela obtida pelo modelo exato, seja por meio da solução ótima ou da melhor solução viável encontrada dentro do tempo limite. Observa-se que, para instâncias de menor porte (com valores reduzidos de W , S e P), a heurística alcança desempenho bastante satisfatório, com GAPs frequentemente inferiores a 5.0. Nessas situações, a solução heurística aproxima-se significativamente da qualidade do modelo exato, com ganhos computacionais relevantes.

Tal comportamento é esperado, uma vez que instâncias mais complexas impõem maior dificuldade à obtenção de soluções próximas do ótimo em tempo reduzido. Contudo, nota-se que a heurística se mostra particularmente vantajosa em cenários de grande escala, nos quais o modelo exato enfrenta limitações computacionais severas, inclusive deixando de encontrar soluções viáveis em algumas instâncias. Nesses casos, a heurística oferece uma alternativa eficiente, capaz de fornecer soluções factíveis de boa qualidade com tempo de processamento significativamente inferior.

5. Estudo de Caso

Com o objetivo de aprimorar a aplicabilidade do método proposto, foi criada uma interface intuitiva para facilitar a geração diária das escalas no hospital, conforme ilustrado na Figura 3. Essa interface foi elaborada utilizando a biblioteca `tkinter` da linguagem Python. Nela, é possível

Instância	GAP	Instância	GAP	Instância	GAP
W112-S30-P10	4.12	W120-S42-P10	5.82	W180-S42-P8	6.76
W112-S30-P9	4.14	W120-S42-P8	5.91	W180-S42-P9	6.76
W112-S42-P10	5.79	W120-S42-P9	5.87	W180-S62-P10	9.88
W112-S42-P9	5.92	W120-S62-P10	8.57	W180-S62-P14	9.88
W112-S62-P10	8.51	W120-S62-P8	8.68	W180-S62-P4	9.25
W120-S30-P10	4.15	W150-S30-P8	4.42	W180-S62-P6	9.41
W120-S30-P8	4.23	W150-S30-P9	4.44	W180-S62-P8	9.91
W120-S30-P9	4.17	W150-S42-P10	6.21	W270-S118-P10	19.02
W150-S42-P9	6.26	W150-S62-P8	9.07	W270-S118-P12	6.31
W150-S62-P9	9.20	W180-S118-P10	17.58	W270-S118-P4	18.16
W180-S118-P12	17.03	W180-S118-P14	16.61	W270-S118-P6	17.74
W180-S118-P4	16.74	W180-S118-P6	17.27	W270-S118-P8	18.61
W180-S118-P8	18.33	W180-S180-P10	28.44	W270-S180-P4	26.65
W180-S180-P12	29.57	W180-S180-P4	24.05	W270-S180-P8	30.49
W180-S30-P10	4.78	W180-S42-P10	6.71	W270-S62-P10	10.12
W270-S62-P12	9.94	W270-S62-P14	9.68	W270-S62-P4	9.80
W270-S62-P6	9.94	W360-S118-P12	20.42	W360-S118-P14	22.44
W360-S118-P4	17.33	W360-S118-P8	6.96	W360-S180-P12	36.72
W360-S62-P10	10.47	W360-S62-P12	11.70	W360-S62-P14	10.49
W360-S62-P4	9.35	W360-S62-P6	9.22	W360-S62-P8	9.13
W360-S62-P9	9.15	W90-S118-P10	14.54	W90-S118-P12	15.12
W90-S118-P14	15.23	W90-S118-P4	14.53	W90-S118-P6	14.14
W90-S14-P4	1.67	W90-S14-P5	1.62	W90-S14-P6	1.55
W90-S14-P7	1.64	W90-S14-P8	1.68	W90-S180-P12	22.38
W90-S180-P14	22.55	W90-S30-P4	3.89	W90-S30-P5	3.68
W90-S30-P6	3.71	W90-S30-P7	3.72	W90-S42-P4	5.45
W90-S42-P5	5.16	W90-S42-P8	5.28	W90-S6-P4	0.68
W90-S6-P5	0.65	W90-S6-P6	0.65	W90-S6-P7	0.65
W90-S6-P8	0.66	W90-S62-P10	7.81	W90-S62-P12	8.14
W90-S62-P14	8.20	W90-S62-P5	7.57	W90-S62-P6	7.64
W90-S62-P7	7.69	W90-S62-P8	7.77		

Tabela 2: GAP por instância

importar o arquivo que contém a base de dados.

A base de dados importada pode ser modificada conforme necessário. Após a importação, a heurística RF é executada e aguarda a geração da solução para o mês, apresentando uma opção para exportar o resultado, como mostrado na Figura 3. O resultado é exportado para um arquivo no formato `.xlsx` que pode ser visualizado no software `Excel` (Figura 4).

Além disso, é possível reiniciar o planejamento da escala durante o mês para lidar com situações como faltas no plantão, banco de horas ou afastamentos. A escala é gerada apenas uma vez por mês para ser enviada ao departamento pessoal e todas as movimentações ou alterações durante o mês são realizadas internamente pelo setor. Nesse cenário, é viável resgatar a escala gerada para o mês e identificar quais trabalhadores podem ser realocados para suprir a ausência de outros. A reinicialização é realizada considerando uma demanda menor em comparação à demanda normal na geração da escala, com o intuito de flexibilizar a alocação de funcionários para compensar a ausência de outros. Nesse modo, ocorre uma redução de um funcionário em cada farmácia, e são adotados os seguintes critérios:

- Verificar se há algum funcionário com o mesmo perfil ou um perfil aproximado disponível para o plantão e alocá-lo na respectiva farmácia.
- Caso não haja disponibilidade, verificar se há algum funcionário com o perfil adequado e com um saldo negativo de banco de horas, sendo preferível alocar um funcionário com um alto número de horas negativas, pois ele teria a possibilidade de compensar essas horas durante o período.

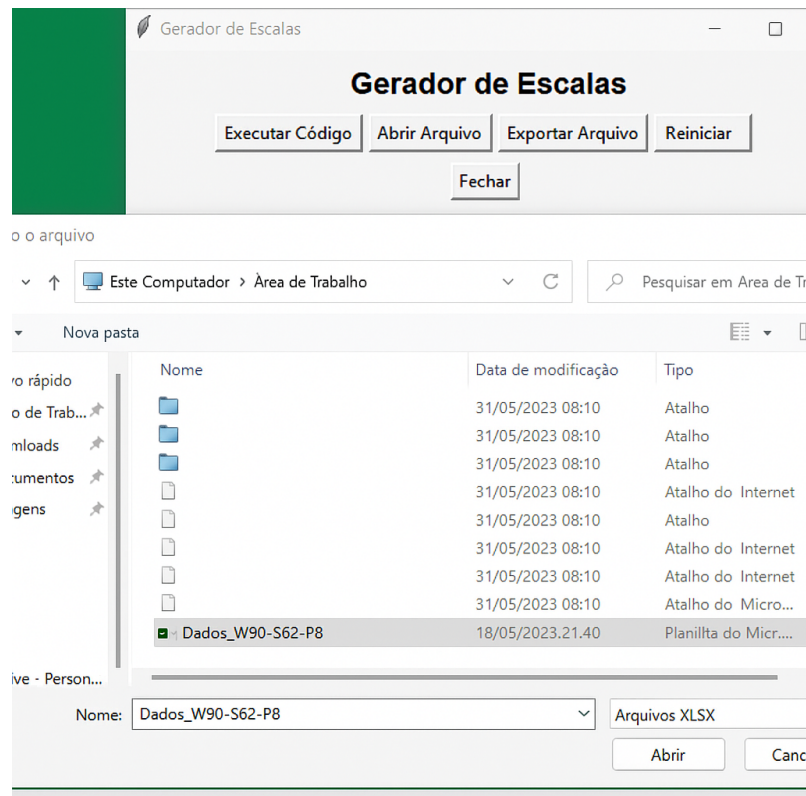


Figura 3: Janela de importação da base de dados.

• E caso não exista nenhuma opção anterior, buscar um funcionário com o perfil necessário e o menor saldo positivo de banco de horas para suprir a demanda da farmácia.

A saída dessa reinicialização é apresentada em um arquivo .txt (Figura 5), contendo as melhores opções seguindo a ordem mencionada anteriormente. O arquivo exporta as quatro melhores opções encontradas durante a reinicialização.

Também buscou-se avaliar o desempenho das farmácias em diferentes períodos, comparando a equipe anterior com a nova equipe alocada nas farmácias. Para esse fim, foram comparados os semestres de 2022.1 e 2022.2, sendo que, no primeiro período, as escalas eram geradas manualmente e no segundo período já estavam em uso as escalas geradas pela heurística. Para coletar esses dados, foram utilizados dois relatórios do sistema interno do hospital: o Relatório de Resumo de Movimentação por Setor e o Relatório de Eficiência de Atendimento. O primeiro relatório contém informações sobre o número de solicitações e itens atendidos pelas farmácias, enquanto o segundo relatório apresenta o tempo médio de atendimento das solicitações. Os seguintes pontos foram analisados para avaliar o desempenho das equipes em ambos os

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31
COLABORADOR 4		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D	
COLABORADOR 14		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N	
COLABORADOR 10	N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N
COLABORADOR 28		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N	
COLABORADOR 58	D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D
COLABORADOR 21	N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N
COLABORADOR 25	N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N
COLABORADOR 37		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D	

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31
COLABORADOR 18		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N	
COLABORADOR 8	N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N		N
COLABORADOR 24	D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D
COLABORADOR 36		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D		D	

Figura 4: Tela gerada pelo *software* contendo a solução encontrada para a instância real. Os nomes reais dos colaboradores foram omitidos.

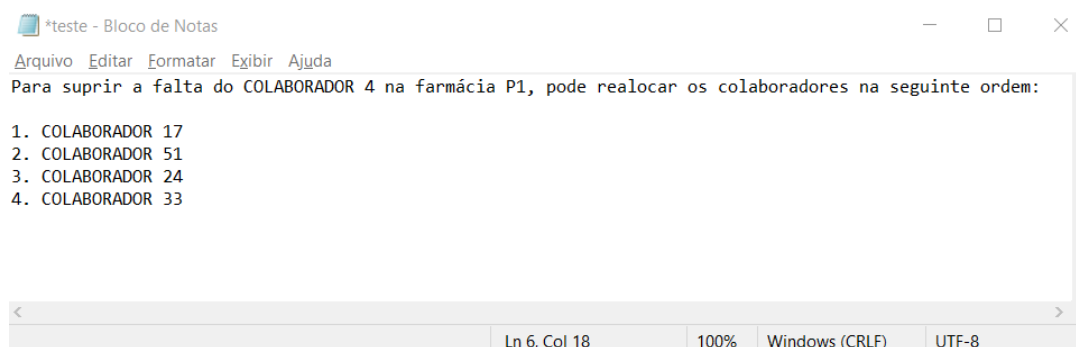


Figura 5: Arquivo gerado pela reinicialização

semestres: (A) número de solicitações atendidas, (B) número de itens atendidos e (C) tempo médio de atendimento das solicitações. A Tabela 3 apresenta os valores de cada semestre para cada farmácia.

Farmácia	2022.1			2022.2		
	A	B	C	A	B	C
P1	26.051	103.014	2.01	37.758	148.603	1.41
P2	982	15.804	2.15	1.086	19.869	1.55
P3	102.012	561.411	3.45	147.887	796.476	2.40
P4	15.521	574.010	1.54	23.672	843.203	1.02
P5	28.881	133.047	3.40	46.029	198.237	2.98
P6	41.592	266.804	2.19	18.841	103.661	1.37
P7	51.131	270.346	4.03	73.245	381.181	3.12
P8	14.645	75.475	2.19	18.841	103.661	1.37

Tabela 3: Comparação das medidas de desempenho (A) número de solicitações atendidas, (B) número de itens atendidos e (C) tempo médio de atendimento das solicitações entre os períodos de 2022.1 (sem a utilização do software) e 2022.2 (com a utilização do software).

A análise dos dados mostrou melhorias significativas nas farmácias e no atendimento aos pacientes, conforme demonstrado pelos números a seguir:

- A equipe atual de colaboradores da farmácia hospitalar conseguiu atender 10% a mais solicitações do que a equipe anterior.
- O número de itens atendidos por colaborador aumentou em média 15%, indicando maior eficiência e produtividade na realização das tarefas.
- A redução no tempo médio de espera dos pacientes foi de 25%, o que significa uma significativa melhoria na qualidade do serviço prestado.

É importante destacar que cada farmácia presta atendimento a perfis de pacientes distintos, o que influencia diretamente nos resultados apresentados para as métricas *A*, *B* e *C* previamente discutidas. A quantidade de solicitações e itens a serem atendidos varia de acordo com o setor e o tipo de paciente atendido, impactando também no tempo demandado para a conclusão dos atendimentos, conforme o tamanho das solicitações.

Esses resultados indicam que a aplicação do algoritmo de alocação de pessoal na farmácia hospitalar proporcionou uma melhor distribuição dos recursos humanos, otimizando o tempo de atendimento e aumentando a produtividade da equipe, além de melhorar significativamente a qualidade dos serviços prestados aos pacientes. Em resumo, o modelo proporcionou melhorias significativas no atendimento aos pacientes, aumentando a eficiência, a produtividade e a qualidade dos serviços prestados pela equipe atual em comparação à equipe anterior.

Pode-se destacar a importância da automatização do processo de geração da escala, que permitiu a obtenção de resultados superiores àqueles obtidos manualmente. Esse modelo foi capaz de demonstrar que é possível desenvolver ferramentas de apoio à decisão desconsideradas anteriormente no hospital.

5.1. Discussões

Os resultados obtidos indicam que o algoritmo proposto é escalável e eficiente em encontrar soluções ótimas para o problema estudado. Um outro resultado prático está associado à realocação de colaboradores nas farmácias. Ao conduzir a análise das alocações das farmácias, observou-se que 25,55% dos funcionários tiveram suas posições de trabalho modificadas, totalizando 23 indivíduos, conforme evidenciado pela instância específica W90-S62-P8. A Farmácia P3 apresentou o maior número de realocações, contabilizando oito colaboradores, sendo três do turno diurno e cinco do turno noturno. Em seguida, a Farmácia P7 registrou cinco realocações, sendo três no turno diurno e duas no turno noturno. A Farmácia P6 experimentou três realocações, distribuídas entre dois colaboradores no turno diurno e um no turno noturno. As Farmácias P1 e P5 apresentaram duas realocações cada, com um indivíduo em cada turno. Ao final, as Farmácias P2, P4 e P8 tiveram somente uma realocação cada, sendo as modificações no turno diurno para as Farmácias P4 e P8, e no turno noturno para a Farmácia P2.

Os resultados da análise comparativa entre a solução sem e com o uso do software permitiu identificar que as Farmácias P8, P7, P4 e P3 apresentaram melhorias notáveis em seu desempenho. Uma investigação detalhada das razões que levaram a essas melhorias indicou que a mudança de um trabalhador do tipo 2 no plantão ímpar noturno foi o fator determinante para as Farmácias P8 e P7. Para a Farmácia P4, a atribuição de apenas trabalhadores do sexo masculino se mostrou efetiva, já que essa farmácia tem uma carga de trabalho que exige um maior uso de força física.

Ao levar em conta as preferências dos trabalhadores na nova escala gerada, é possível obter melhorias significativas no atendimento das solicitações. Isso se deve ao fato de que a nova escala considera não somente as habilidades e disponibilidade dos trabalhadores, mas também suas preferências em relação às farmácias onde desejam trabalhar.

Além disso, a nova escala pode reduzir o número de solicitações não atendidas ou atrasadas, já que a distribuição de trabalho é feita de forma mais equilibrada e justa. Com uma escala mais justa e balanceada, a equipe é capaz de trabalhar com mais eficiência e eficácia, o que se traduz em um atendimento mais rápido e efetivo para os pacientes e clientes.

É fundamental ter em mente que a implantação da nova escala requer um planejamento cuidadoso e uma comunicação clara aos trabalhadores. É preciso oferecer treinamento adequado e suporte para que a nova escala seja entendida e aceita pelos colaboradores, e que a transição seja tranquila, sem interrupções nos serviços prestados.

Outros benefícios relatados pela gestão do hospital incluem:

1. Identificação de demanda de trabalho: Analisando os dados coletados, identificou-se a demanda de trabalho na farmácia hospitalar, incluindo o número de solicitações e itens atendidos pelos colaboradores;
2. Avaliação da equipe atual: A partir da avaliação da equipe atual da farmácia hospitalar, pôde-se identificar suas habilidades e capacidades, bem como suas limitações e pontos fortes;
3. A geração automática das escalas de trabalho permitiu que os funcionários responsáveis por essa atividade pudessem realocar o seu tempo em outras áreas prioritárias para o hospital;
4. A alocação otimizada de pessoal levou a uma melhoria significativa na eficiência da farmácia hospitalar e, portanto, no atendimento aos pacientes.

6. Conclusão

Neste estudo, foi proposto um algoritmo RF para a otimização do escalonamento de funcionários em uma farmácia hospitalar, levando em consideração diferentes habilidades e preferências dos funcionários, bem como as necessidades do hospital. Os resultados obtidos demonstraram que o RF proposto é escalável. Todas as instâncias testadas foram resolvidas em tempos computacionais satisfatórios.

A alocação de funcionários nessa instituição era feita manualmente por um encarregado, o que exigia vários dias de trabalho e não assegurava uma distribuição eficiente e equitativa dos recursos humanos. Além de ser um processo lento, a alocação manual estava sujeita a decisões subjetivas, frequentemente gerando inconsistências que comprometiam a qualidade das escalas e, por consequência, o desempenho das atividades hospitalares. Portanto, a utilização de ferramentas automatizadas mostrou-se importante para garantir soluções eficientes.

A análise comparativa entre as soluções manual e do algoritmo para uma instância real demonstrou uma melhoria percentual em relação à solução manual e permitiu identificar que algumas farmácias apresentaram melhorias notáveis em seu desempenho, indicando que a aplicação do algoritmo apresenta vantagens em relação à alocação manual.

Apesar dos resultados promissores obtidos com o modelo proposto, é importante reconhecer algumas limitações deste estudo. Primeiramente, a aplicação do algoritmo foi focada especificamente em um setor de farmácia hospitalar, o que pode restringir sua generalização para outros contextos ou setores. Além disso, as preferências dos trabalhadores foram consideradas de forma estática, sem levar em conta possíveis variações ao longo do tempo. É necessário desenvolver abordagens que permitam a atualização contínua das preferências dos funcionários, a fim de garantir a eficácia e a adaptação contínua da ferramenta desenvolvida. A coleta de dados sobre a satisfação dos funcionários, a produtividade, o absenteísmo e a rotatividade antes e depois da implementação do *software* pode fornecer *insights* valiosos sobre seus benefícios e limitações práticas.

Para estudos futuros, recomenda-se a ampliação da aplicação da ferramenta proposta a outros setores hospitalares, como enfermagem, unidades de terapia intensiva e centro cirúrgico, considerando as especificidades operacionais de cada contexto. Adicionalmente, sugere-se o aprimoramento da abordagem já implementada com algoritmos de horizonte deslizante, visando um tratamento de incertezas e eventos imprevistos, tais como faltas e realocações de pessoal conforme a demanda. Tal aprimoramento deve permitir ajustes localizados nas alocações previamente definidas, de forma ótima e dinâmica, minimizando a necessidade de reinicialização completa da escala e preservando a estabilidade das alocações. Para tanto, é fundamental desenvolver métodos que reduzam a quantidade de realocações encadeadas decorrentes da substituição de turnos, de modo que a reestruturação dos turnos afetados, ao cobrir uma ausência, envolva o menor número possível de modificações subsequentes, assegurando maior eficiência e menor impacto operacional no processo decisório.

Em suma, destaca-se que, embora este estudo tenha demonstrado a viabilidade e os benefícios potenciais de um programa de escalonamento que considera as preferências dos funcionários, ainda há espaço para melhorias e aprofundamento da pesquisa nessa área, como novas heurísticas.

Agradecimentos

Este trabalho contou com auxílio financeiro da FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) por meio da bolsa PIBIC BIC-0588-3.08/23. Este trabalho foi apoiado pela CAPES (processos 88881.917250/2023-0 e 88887.799539/2022-00). Os autores agradecem à Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO).

Referências

- Abdalkareem, Z. A., Amir, A., Al-Betar, M. A., Ekhan, P., e Hammouri, A. I. Healthcare scheduling in optimization context: a review. *Health and Technology*, v. 11, n. 3, 2021.
- Absi, N. e van den Heuvel, W. Worst case analysis of relax and fix heuristics for lot-sizing problems. *European Journal of Operational Research*, v. 279, n. 2, p. 449–458, 2019.
- Amindoust, A., Asadpour, M., Shirmohammadi, S., e Improt, G. A hybrid genetic algorithm for nurse scheduling problem considering the fatigue factor. *Journal of Healthcare Engineering*, v. 21, p. 1–11, 2021.
- Beaulieu, H., Ferland, J., Gendron, B., e Michelon, P. A mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room. *Health Care Management Science*, v. 3, p. 193–200, 2000.
- Bergh, J. V. D., Beliën, J., Bruecker, P. D., Demeulemeester, E., e Boeck, L. D. Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, v. 226, p. 367–385, 2013.
- Burke, E. K., Causmaecker, P. D., Berghe, G. V., e Landeghem, H. V. The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling*, v. 7, p. 441–499, 2004.
- Correa, R. N., Scarpin, C. T., Ferrari, L. S., e Arce, J. E. Application of relax-and-fix heuristic in the aggregation of stands for tactical forest scheduling. *Forest Policy and Economics*, v. 119, p. 102284, 2020.
- Devesse, V. A. P., da Silva Arantes, M., Akartunal, K., e Toledo, C. F. M. Equidade em escalonamento de médicos em sala de emergência usando programação matemática. In: *II Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Limeira - SP. SBPO, 2019.
- Dorne, R. Personnel shift scheduling and rostering. In: *Service Chain Management*. p. 125–138. : Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- Dück, V., Ionescu, L., Kliwer, N., e Suhl, L. Increasing stability of crew and aircraft schedules. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 20, n. 1, p. 47–61, 2012.
- Ernst, A., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Owens, B., e Sier, D. An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering. *Annals of Operations Research*, v. 127, n. 1-4, p. 21–144, 2004a.
- Ernst, A., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., e Sier, D. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, v. 153, n. 1, p. 3–27, 2004b.
- Filho, F. S. D. F. *Uma abordagem para o problema de alocação de professores em disciplinas utilizando programação linear inteira*, 2016. Disponível em: <https://www.repositoriobib.ufc.br/000032/00003255.pdf>.
- Fressato, A. A., Loch, G. V., Junior, J. E. P., e de Souza, A. S. Modelo matemático para a escala de trabalho de anestesistas do hospital universitário da UFPR. In: *II Simpósio de Métodos Numéricos em Engenharia*. Curitiba – PR. Elsevier, 2017.
- Gilgen, J. K. *Otimização da escala de operadores de equipamentos em terminais portuários: aplicação ao porto Itapoá*, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/176938>.

- Gross, C. N., Fügener, A., e Brunner, J. O. Online rescheduling of physicians in hospitals. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, v. 30, n. 1-2, p. 296–328, 2017.
- Han, X., Xu, Y., Wu, H., e Guo, S. An milp model for scheduling and staffing of inpatient chemotherapy units. *Annals of Operations Research*, v. 262, n. 2, p. 385–404, 2018.
- Hassani, R., Desaulniers, G., e Elhallaoui, I. Real-time personnel re-scheduling after a minor disruption in the retail industry. *Computers & Operations Research*, v. 120, p. 104952, 2020.
- Ingels, J. e Maenhout, B. The impact of reserve duties on the robustness of a personnel shift roster: An empirical investigation. *Computers & Operations Research*, v. 61, p. 153–169, 2015.
- Kelly, J. D. e Mann, J. L. Flowsheet decomposition heuristic for scheduling: a relax-and-fix method. *Computers & Chemical engineering*, v. 28, n. 11, p. 2193–2200, 2004.
- Keramati, A., Khalili-Damghani, K., Apornak, A., e Raissi, S. Optimization nursing employees in a hospital emergency department by using linear programming. *International Journal of Management Concepts and Philosophy*, v. 1, p. 1, 2020.
- Moreira, L. B., de Souza Moreira, A. R., e Montané, F. A. T. O problema de programação de equipes de certificação de unidades fixas de cimentação. In: *Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Vitória – ES. SBPO, 2016.
- Scaraficci, R. A. *Estatégias híbridas para um problema de planejamento e escalonamento de atividades florestais em curto prazo*, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/434057>.
- Silva, L. G. *Modelagem para resolução do problema de designação de equipes para manutenção da iluminação pública no médio Piracicaba*, 2017. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/354>.
- Silva Neto, V. S., França, R. L. d. M., Silva, K. K. N., da Costa, L. C. A., e Kramer, H. H. F. R. A mixed-integer linear programming model for scheduling volunteers in technical support teams in non-governmental organizations. *Socioeconomic Analytics*, v. 2, n. 1, p. 19–36, 2024.
- Smet, P., Bilgin, B., Causmaecker, P. D., e Berghe, G. V. Modelling and evaluation issues in nurse rostering. *Annals of Operations Research*, v. 218, n. 1, p. 303–326, 2012.
- Souza, E. F. S., Coutinho, W. P., Costa, L., Cabezas García, J. X., e Correia, G. *Optimal personnel scheduling in hospital pharmacies considering management and operators priorities*. Technical Report 31109, Optimization Online <https://optimization-online.org/?p=31109>. Disponível no Optimization Online, 2025.
- Spry, C. e Lawley, M. Evaluating hospital pharmacy staffing and work scheduling using simulation. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005*. Orlando, FL, USA, 2005. p. 8 pp.–.
- Tucker, A. L. The impact of operational failures on hospital nurses and their patients. *Journal of Operations Management*, v. 22, n. 2, p. 151–169, 2004.
- Wright, J., Arndt, R., Christensen, J., Kooda, K., e Cunningham, J. Engagement of hospital pharmacists and technicians to optimize staffing schedules. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, v. 14, n. 70, 2021.
- Zanetti, M. F. V. e da Silva Junior, O. S. Programação de escala de maquinistas para uma ferrovia de carga geral: Uma revisão ad literatura. In: *Anais do XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*. Limeira – SP. SOBRAPO, 2019. p. 1–8.