

## **OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE ENFERMAGEM USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS NO CONTEXTO DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA**

### *NURSE SCHEDULING OPTIMIZATION USING GENETIC ALGORITHMS IN THE CONTEXT OF BRAZILIAN LEGISLATION*

**PEDRO LUÍS SILVA GIACOMIN**  
UFMG

**CAMILA SANTANA BRAZ**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**GABRIELA NUNES LOPES**  
UFMG

#### **Comunicação:**

O XII SINGEP foi realizado em conjunto com a 12th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com o Casablanca Climate Leadership Forum (CCLF 2024), em formato híbrido, com sede presencial na ESCA Ecole de Management, no Marrocos.

## **OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE ENFERMAGEM USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS NO CONTEXTO DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA**

### **Objetivo do estudo**

Apresentar uma metodologia e uma ferramenta para realizar de maneira automática o dimensionamento de enfermagem em hospitais usando algoritmos genéticos, mantendo a conformidade com as normas técnicas definidas pelo Conselho Federal de Enfermagem e com a legislação trabalhista brasileira.

### **Relevância/originalidade**

O presente estudo apresenta uma forma alternativa de realizar o dimensionamento de enfermagem, que hoje é feito manualmente. Estudos anteriores não consideram o contexto brasileiro, muito menos as normas técnicas definidas pelo Conselho Federal de Enfermagem do Brasil no ano de 2024.

### **Metodologia/abordagem**

O problema foi modelado como um problema de otimização, com base tanto na legislação trabalhista brasileira quanto nas normas do Conselho Federal de Enfermagem. A busca pelas soluções ótimas foi feita usando algoritmos genéticos.

### **Principais resultados**

Foram obtidas escalas que cumprem com os requisitos estabelecidos na legislação para 2 cenários diferentes. Também foi desenvolvida uma ferramenta para que pessoas sem conhecimento em programação possam utilizar a metodologia e aplicar em seus respectivos cenários hospitalares.

### **Contribuições teóricas/metodológicas**

Uso de algoritmos genéticos na Gestão de Pessoas para contextos em que há critérios de dimensionamento de pessoal específicos a serem cumpridos e com funcionários trabalhando em escalas diferentes, não apenas no contexto hospitalar.

### **Contribuições sociais/para a gestão**

Uma ferramenta fácil de ser utilizada e que pode servir no contexto de muitos hospitais brasileiros, e uma metodologia de dimensionamento de pessoal que pode ser usada em outros contextos de gestão de pessoas.

**Palavras-chave:** gestão-de-pessoas, dimensionamento-de-pessoal, dimensionamento-de-enfermagem, people-analytics, algoritmos-genéticos

## *NURSE SCHEDULING OPTIMIZATION USING GENETIC ALGORITHMS IN THE CONTEXT OF BRAZILIAN LEGISLATION*

### **Study purpose**

Introduce a methodology and a tool to automatically plan the amount of nurses needed in a hospital using genetic algorithms, in accordance with the technical requirements defined by the Brazilian National Nursing Council and Brazilian labor laws.

### **Relevance / originality**

This study presents an alternative way of calculating the amount of nurses needed in a hospital, which is done manually nowadays. Previous studies do not consider the Brazilian context, let alone the technical norms specified by the Brazilian National Nursing Council, 2024.

### **Methodology / approach**

The problem was modeled as an optimization problem, keeping in mind the Brazilian labor laws and the norms specified by the Brazilian National Nursing Council. The search for solutions was done using genetic algorithms.

### **Main results**

We obtained schedules that fill the requirements for 2 different scenarios. We also developed an easy-to-use tool so that people with no knowledge in programming could use the methodology and apply it in their own hospitals.

### **Theoretical / methodological contributions**

The use of genetic algorithms in People Management in contexts where there are specific workforce requirements to be fulfilled and with employees working with different work schedules, applicable in contexts other than hospital ones.

### **Social / management contributions**

An easy-to-use tool that can be applied in many different Brazilian hospitals, and a Workforce Planning method that can be used in other People Management contexts.

**Keywords:** people-management, workforce-planning, nurse-scheduling-problem, people-analytics, genetic-algorithm

## OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE ENFERMAGEM USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS NO CONTEXTO DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

### 1 Introdução

Nos últimos anos, o setor de Gestão de Recursos Humanos está cada vez mais empenhado em se digitalizar e tomar decisões baseadas em dados. Nesse cenário, surgiu a metodologia de Gestão de Pessoas chamada *People Analytics*, que consiste na análise de dados de pessoas com rigor científico para tornar mais assertivas as decisões relacionadas aos funcionários de uma empresa (Numera People Analytics, 2024). A Figura 1 apresenta o crescimento no interesse do mundo ao longo do tempo no termo de pesquisa *People Analytics* no *Google*. Dentro dessa metodologia, existe um processo chamado *Workforce Planning*, em que as organizações analisam as necessidades futuras de mão de obra com o objetivo de garantir a continuidade das operações. Em outras palavras, determina-se quantas pessoas devem compor o time de colaboradores, em quais projetos elas devem trabalhar e por quanto tempo devem ficar alocadas, a fim de otimizar funções como gastos com salário e tempo de execução. Entretanto, a realidade atual nas empresas é que esse planejamento ainda é feito manualmente, principalmente em planilhas.

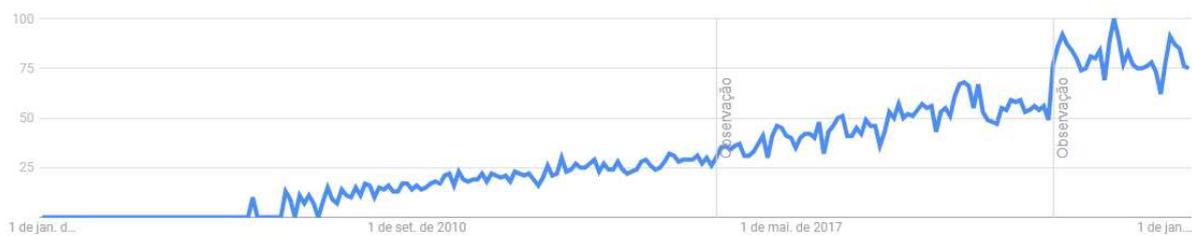


Figura 1: Crescimento no interesse do mundo ao longo do tempo do termo de pesquisa *People Analytics* no *Google*. Fonte: *Google Trends*

Na área da saúde esse cenário não é diferente, destacando-se, nesse contexto, o problema do dimensionamento de enfermagem, uma tarefa recorrente dos enfermeiros responsáveis pela gestão de equipe em hospitais (COFEN, 2024). Esse problema consiste em determinar a quantidade de enfermeiros (profissionais com formação superior) e técnicos em enfermagem (profissionais com formação técnica) a serem escalados para determinado setor de um hospital. Os parâmetros que determinam o quantitativo de pessoal necessário são definidos pelo Conselho Federal de Enfermagem (COFEN) por meio de Pareceres Normativos publicados periodicamente. O último parecer foi publicado em 2024 (COFEN, 2024) e substituiu o parecer publicado anteriormente em 2017 (COFEN, 2017), atualizando as normas que regem o dimensionamento de enfermagem. Além disso, deve ser considerada a Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT), que define as modalidades de trabalho permitidas para profissionais de saúde.

Como meio de solução do problema da determinação de profissionais da enfermagem a serem escalados para setores de hospitais, é possível utilizar técnicas analíticas. No entanto, estas apresentam alto custo computacional e humano. Então, para tentar solucionar este problema, podem ser utilizados algoritmos de otimização. Neste caso, optou-se pela utilização de algoritmos genéticos. Algoritmos Genéticos são uma subárea da Computação Evolutiva, que por sua vez é uma subárea da Inteligência Artificial. Se trata de uma metaheurística baseada na teoria da evolução de Charles Darwin para a busca de soluções ótimas ou muito próximas disso em problemas de otimização (Eiben and Smith, 2015). Conseqüentemente, considera-se que algoritmos genéticos são ferramentas de inteligência artificial que podem ser utilizadas para facilitar o dimensionamento de equipes.

Em vista do exposto, o tema deste trabalho envolve o uso de Algoritmos Genéticos para desenvolver uma modelagem de *Workforce Planning* aplicada ao dimensionamento de enfermagem, que possa ser utilizada em ambientes hospitalares, considerando as regras impostas pelo COFEN e pela CLT. Além disso, foi implementada uma ferramenta usando *Python* e a framework *Streamlit* para permitir que profissionais de enfermagem e gerentes que não tenham conhecimento em programação utilizem a ferramenta de otimização. A abordagem descrita nesse artigo pode ser reutilizada em outros contextos em que há regras de negócio bem definidas para o dimensionamento de pessoal, como é o caso do dimensionamento de enfermagem.

## 2 Referencial Teórico

A referência (Hakim and Bakhtiar, 2017) aborda um algoritmo para alocação dos enfermeiros em escalas de trabalho como alternativa à alocação manual. O modelo desenvolvido busca uma solução capaz de atender às demandas de salas de enfermagem distintas, cada uma com uma necessidade diferente de número de funcionários, enquanto minimiza o número de violações às restrições trabalhistas impostas pelo hospital, e.g., um enfermeiro não pode ser alocado em mais de 3 turnos noturnos em sequência. O algoritmo proposto usa programação por metas, uma extensão da programação linear, na busca por uma escala de trabalho ótima, inicialmente sem se preocupar com a divisão igualitária das cargas de trabalho entre os funcionários. Em um passo seguinte, o modelo é melhorado para minimizar a variância na distribuição de turnos noturnos e dias de folga entre os funcionários. O modelo final consegue atender a 100% das restrições impostas pelo hospital com uma carga de turnos noturnos e dias de folga equilibrada entre os funcionários, o que não era possível com a alocação manual.

O estudo (Leksakul and Phetsawat, 2014) aborda a importância do gerenciamento eficiente de recursos humanos em um ambiente de administração hospitalar, especialmente em relação à escala de enfermeiros, devido à imprevisibilidade do número de pacientes. A pesquisa desenvolve um modelo de escalonamento que visa minimizar os custos com pessoal e garantir uma distribuição justa das horas extras, de modo a preservar a qualidade do serviço hospitalar. O modelo matemático implementa uma função objetivo que considera o pagamento de horas extras e seu desvio padrão entre os profissionais e, por meio de um algoritmo genético (AG), determina a demanda ótima de enfermeiros. A implementação desse AG acarretou uma economia de 12% nos custos relacionados a gastos com pessoal e uma redução de 13% no número de profissionais necessários, além de uma distribuição mais equilibrada das horas extras entre os colaboradores. Os resultados indicam que o AG foi mais eficiente em termos de tempo de computação comparado aos métodos tradicionais, como programação linear e alocação manual, e teve um desempenho eficaz na criação de escalas de trabalho para profissionais de enfermagem, visando redução de custos e distribuição igualitária de horas extras. Todavia, esse estudo considera as normas locais, não sendo diretamente aplicável ao contexto brasileiro. Neste artigo apresentamos uma abordagem que considera a legislação trabalhista do Brasil e as normas de dimensionamento de enfermagem definidas pelo órgão federal responsável pela regulamentação dessa profissão no país, o COFEN.

## 3 Dimensionamento de Enfermagem

As normas para dimensionamento de enfermagem definidas em (COFEN, 2024) são dependentes do local e tipo de serviço de saúde prestado - e.g. unidades de Pronto Socorro, que recebem pacientes que precisam de atendimento imediato, têm regras diferentes de Unidades de Internação (UI), que são locais com infraestrutura adequada para a permanência do paciente em um leito hospitalar por 24 horas ou mais.

Nesse estudo será considerado o dimensionamento de enfermagem em UIs, o qual se baseia na quantidade de pacientes internados e seus graus de complexidade – que definem sua dependência em relação à equipe de Enfermagem. Para isso, é considerada uma previsão de quantos pacientes serão internados e seus graus de complexidade – chamado aqui de “perfil de pacientes” – classificados em (COFEN, 2024) conforme descrito abaixo:

- **Paciente de Cuidados Mínimos (PCM):** paciente estável sob o ponto de vista clínico e de Enfermagem e autossuficiente quanto ao atendimento das necessidades humanas básicas;
- **Pacientes de Cuidados Intermediários (PCI):** paciente estável sob o ponto de vista clínico e de Enfermagem, com parcial dependência dos profissionais de Enfermagem para o atendimento das necessidades humanas básicas;
- **Pacientes de Cuidados de Alta Dependência (PCAD):** paciente crônico, incluindo o de cuidado paliativo, estável sob o ponto de vista clínico, porém com total dependência das ações de Enfermagem para o atendimento das necessidades humanas básicas;
- **Pacientes de Cuidados Semi-Intensivos (PCSI):** paciente passível de instabilidade das funções vitais, recuperável, sem risco iminente de morte, requerendo assistência de Enfermagem e médica permanente e especializada;
- **Pacientes de Cuidados Intensivos (PCIt):** paciente grave e recuperável, com risco iminente de morte, sujeito à instabilidade das funções vitais, requerendo assistência de Enfermagem e médica permanente e especializada.

Cada paciente de cada grau de complexidade demanda uma certa quantidade de horas de enfermagem (HE) a cada 24h – e.g. um paciente PCAD demanda 10 HE. Ainda, a porcentagem de enfermeiros (profissionais com formação superior) necessária na equipe depende de qual grau de complexidade é dominante. Assim, se houver uma maioria de pacientes PCI, por exemplo, 33% da equipe deve ser composta de enfermeiros e os outros 67% de técnicos em enfermagem. As informações de HE e porcentagem de enfermeiros segundo os graus de complexidade é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1: Demanda de enfermagem por nível de complexidade do paciente.

Complexidade	PCM	PCI	PCAD	PCSI	PCIt
HE por dia	4h	6h	10h	10h	18h
% de enfermeiros	33%	33%	36%	42%	52%

Diante do apresentado, a quantidade de pessoal QP necessária em uma semana para uma UI é definida em (COFEN, 2024) pela Equação 1, em que CHS é a Carga Horária Semanal dos profissionais, IST é o Índice de Segurança Técnica (margem de segurança para considerar ausências e férias) e DS é a quantidade de dias na semana.

$$QP = \frac{(4. PCM + 6. PCI + 10. PCAD + 10. PCSI + 18. PCIt). DS. IST}{CHS} \quad (1)$$

A solução desenvolvida nesse artigo funciona como uma melhoria da equação apresentada acima. É utilizada como entrada uma lista com o perfil de pacientes internados e oferece como saída uma lista com a quantidade de enfermeiros e técnicos de enfermagem que cumpre com a quantidade de horas mínima exigida pelo parecer normativo (COFEN, 2024). Todavia, enquanto a equação considera que todos os profissionais têm a mesma Carga Horária Semanal, o algoritmo considera que há profissionais trabalhando tanto na escala 12x36 (CHS

= 42h semanais) quanto na escala 6x1 (CHS = 44h semanais), que são duas modalidades de trabalho previstas na legislação trabalhista brasileira

O Art. 7º da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT, 1943) define que a jornada máxima de trabalho é de 8 horas diárias e 44 horas semanais. Em hospitais a escala mais comum é a 6x1, em que os funcionários trabalham 6 dias na semana (7h20 diárias) e têm 1 dia de descanso. Todavia, no caso dos profissionais de enfermagem, o Art. 59-A da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT, 1943) também permite a escala de 12x36, em que os profissionais trabalham por 12 horas, seguidas de um período de 36 horas de descanso.

## 5 Algoritmos Genéticos (AGs)

Algoritmos Genéticos (AGs) são uma abordagem estocástica para solução de problemas de otimização que permitem encontrar soluções ótimas – ou muito próximas disso – em problemas de otimização. A ideia básica do seu funcionamento é tratar as possíveis soluções do problema como “indivíduos” de uma “população”, que irá “evoluir” a cada “geração” – que é cada iteração do algoritmo.

Para ser possível aplicar um AG a um problema, é preciso modelar suas possíveis soluções como um conjunto de “genes”, pois a evolução das soluções se dá pela troca desses genes. Ainda, é necessária uma “função de aptidão” (*fitness function*), que mede o “quão bom” um “indivíduo” é para solucionar aquele problema. A cada iteração os “indivíduos” sofrem uma “seleção” baseada nessa função de aptidão, e os melhores indivíduos têm a possibilidade de se “reproduzirem”.

A reprodução é quando os indivíduos “pais” que foram selecionados vão trocar genes entre si, gerando um conjunto de indivíduos “filhos” numa operação chamada “crossover”. Em seguida, os filhos passam por uma fase de “mutação”, em que há uma certa probabilidade de seus genes serem alterados aleatoriamente. Após essa fase obtém-se uma nova população.

O algoritmo é iniciado com uma “população inicial” – que pode ser aleatória ou gerada segundo alguma outra lógica – e é finalizado quando pelo menos um indivíduo atinge um valor de aptidão considerado suficiente – chamada “condição de parada” – ou quando atinge um número máximo de iterações (Eiben, Smith, 2015). O funcionamento do algoritmo é ilustrado na Figura 2.

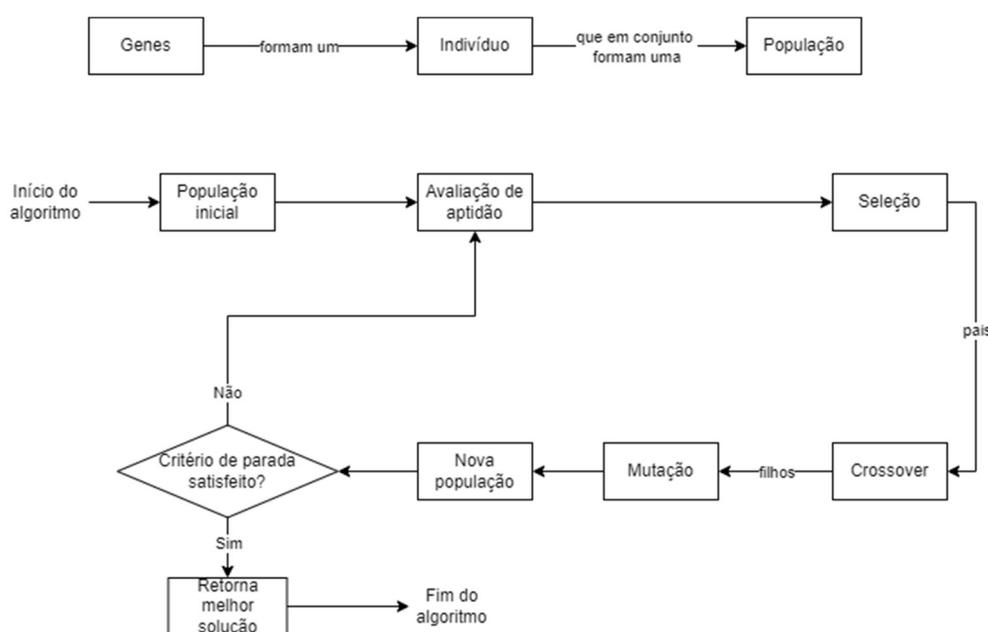


Figura 2: Funcionamento do algoritmo genético em etapas. Fonte: Os autores

A configuração de um algoritmo genético envolve diversos parâmetros que podem ser ajustados para buscar soluções melhores em um tempo menor, são eles:

- **Tamanho da população:** O número de indivíduos na população em cada geração.
- **Probabilidade de crossover:** A probabilidade de dois indivíduos trocarem genes entre si.
- **Probabilidade de mutação:** A probabilidade de um gene em um indivíduo sofrer mutação.
- **Tipo de cruzamento (*Two-point* ou *Uniform*):** Define como os indivíduos são combinados para produzir descendentes: se trocam todos os genes a partir de um ponto comum no seu código genético (*Uniform*); ou se trocam apenas os genes entre dois pontos em comum (*Two-point*)
- **Tipo de mutação (*Uniform* ou *Gaussian*):** Define como os genes dos indivíduos podem mudar aleatoriamente: se todos os valores possíveis para um gene têm a mesma probabilidade de ser escolhidos (*Uniform*); ou se eles podem ser escolhidos segundo uma distribuição normal em torno de uma média escolhida arbitrariamente (*Gaussian*).
- **Método de seleção:** A forma como os pais serão selecionados para reprodução. O método usado nesse artigo foi o do “torneio”, em que  $n$  pais são escolhidos aleatoriamente para “duelar” e o que tiver o valor de aptidão mais favorável é selecionado. O valor de  $n$  pode ser ajustado a fim de melhorar os resultados.
- **Número de gerações:** O número total de gerações antes do algoritmo ser encerrado.
- **Critério de parada:** Valor de aptidão que, se atingido por algum indivíduo, força o encerramento do algoritmo.

A partir dos conceitos apresentados acerca de algoritmos genéticos, é possível constatar que a robustez deste algoritmo pode conferir em uma solução adequada para o problema de alocação de equipes apresentada no presente trabalho. Tal aplicação será apresentada nas próximas seções.

## 5.1 Modelagem do problema

No problema de dimensionamento de enfermagem apresentado, um “indivíduo” pode ser representado como um vetor de 4 posições (4 “genes”) como o mostrado a seguir

$$\text{indivíduo} = [\text{EN}_{12}, \text{EN}_6, \text{TE}_{12}, \text{TE}_6]$$

em que:

- EN<sub>12</sub> e EN<sub>6</sub> são as quantidades de enfermeiros que trabalham nas escalas 12x36 e 6x1, respectivamente;
- TE<sub>12</sub> e TE<sub>6</sub> são as quantidades de técnicos em enfermagem que trabalham nas escalas 12x36 e 6x1, respectivamente.

De posse do perfil de pacientes internados, é possível calcular o total de horas de enfermagem necessárias THE. A fim de facilitar a alocação dos profissionais que trabalham na escala 12x36, o dimensionamento será feito considerando 14 dias de trabalho, uma vez que, nessa modalidade, o número de turnos em uma semana alterna entre 3 e 4.

O número de horas de enfermagem de uma solução – um indivíduo – pode ser facilmente calculado usando a Equação 2, e a proporção de enfermeiros usando a Equação 3:

$$\text{horas\_indiv\u00edduo} = 84. \text{EN}_{12} + 88. \text{EN}_6 + 84. \text{TE}_{12} + 88. \text{TE}_6 \quad (2)$$

$$\text{prop\_enf} = \frac{\text{EN}_{12} + \text{EN}_6}{\text{EN}_{12} + \text{EN}_6 + \text{TE}_{12} + \text{TE}_6} \quad (3)$$

## 5.2 Entradas do problema

As entradas do problema são:

- 1) Um vetor com a quantidade de pacientes de cada grau de complexidade (perfil):  
pacientes = [PCM, PCI, PCAD, PCS, PCIt]
- 2) O valor do IST, que deve ser no mínimo 15% (COFEN, 2024).

O cálculo das horas de enfermagem necessárias (THE) para os 14 dias foi feito com base no perfil de pacientes e no IST, a partir da Equação 4

$$\text{THE} = 14 \cdot \text{IST} \cdot \sum \text{pacientes} \cdot \text{HE} \quad (4)$$

onde HE é a quantidade de horas de enfermagem a cada 24h que cada grau de complexidade demanda (Tabela 1).

## 5.3 Função de aptidão

O objetivo da otimização é encontrar um arranjo de enfermeiros e técnicos em enfermagem que:

- **Critério 1:** horas\_individuo se aproxime da THE calculada
- **Critério 2:** *prop\_enf* atenda aos critérios definidos na Tabela 1.

A cada solução é atribuída uma penalidade que é proporcional aos desvios dos Critérios 1 e 2 e o problema foca na minimização dessa penalidade. Assim, nossa “função de aptidão (*fitness*)” é a própria penalidade, que pode ser calculada pela Equação 5:

$$\text{fitness} = \text{penalidade\_horas} + \text{penalidade\_prop} \quad (5)$$

O cálculo das penalidades ocorre da seguinte forma:

- **penalidade\_horas** : A princípio, a penalidade por horas de trabalho seria dada apenas pela diferença entre horas\_totais e THE. Todavia, apesar de o número de horas em uma solução poder ser ligeiramente maior que o número de horas necessárias (THE), ele nunca pode ser menor. Para impedir a evolução de soluções com essa característica, é aplicada uma penalidade significativa para o cenário indesejado, conforme a Equação 6:

$$\text{penalidade\_horas} = \begin{cases} 100000, & \text{se horas\_totais} < \text{THE} \\ \text{horas\_totais} - \text{THE}, & \text{se horas\_totais} \geq \text{THE} \end{cases} \quad (6)$$

- **penalidade\_prop**: O nível de complexidade que possui o maior número de pacientes no vetor pacientes define a proporção de enfermeiros *prop\_need* necessária para

aquele perfil de acordo com a Tabela 1. A penalidade é definida como a diferença absoluta entre  $prop\_enf$  e  $prop\_need$ .

Como a penalidade de proporção de enfermeiros tem uma ordem de grandeza próxima de 2 casas decimais, se faz necessário corrigir essa escala para ficar com a mesma ordem de grandeza da penalidade por horas de trabalho, por isso a diferença absoluta é multiplicada por 100 (Equação 7):

$$penalidade\_prop = 100 \cdot |prop\_enf - prop\_need| \quad (7)$$

#### 5.4 Aplicação

A aplicação desenvolvida com *framework Streamlit e Python* (Braz and Giacomini, 2024) foi projetada para disponibilizar uma ferramenta de otimização acessível a profissionais de enfermagem e de recursos humanos que não possuem conhecimento em programação. A interface (Figura 3) permite que os usuários insiram dados relevantes e obtenham soluções otimizadas para escalas de trabalho sem a necessidade de trabalhar com códigos.

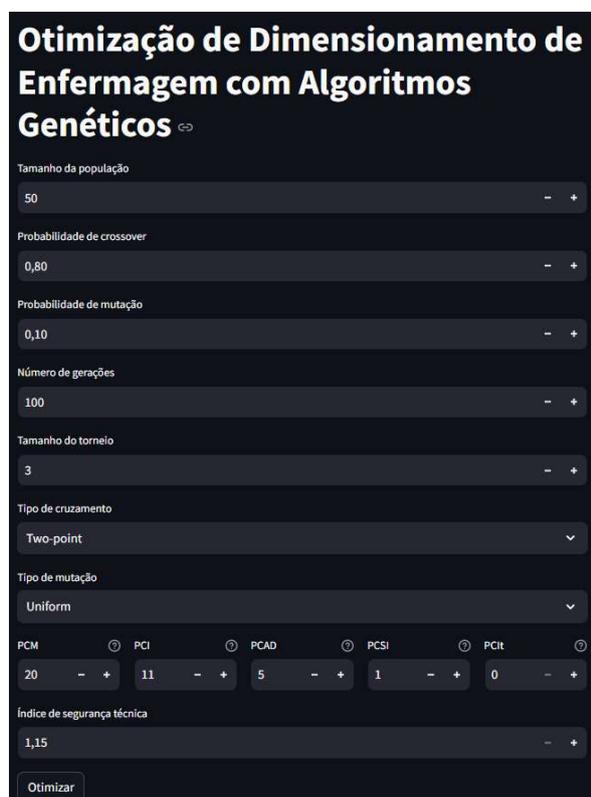


Figura 3: Interface para a entrada de dados do problema real. Fonte: Os autores

A aplicação oferece as seguintes funcionalidades:

- **Entrada de Dados:** Os usuários podem montar o número de pacientes de cada nível de complexidade (Cuidados Mínimos, Cuidados Intermediários, Cuidados de Alta Dependência, Cuidados Semi-Intensivos e Cuidados Intensivos) e o índice de segurança técnica (IST).
- **Configuração dos Parâmetros do Algoritmo:** Os parâmetros do algoritmo genético, como o tamanho da população, probabilidade de crossover, probabilidade de mutação, número de gerações, tipo de cruzamento e tipo de mutação, podem ser ajustados conforme necessário.

- **Otimização da Escala de Trabalho:** Ao clicar no botão "Otimizar", a aplicação executa o algoritmo genético e encontra a melhor combinação de enfermeiros e técnicos para atender às necessidades de cuidado, respeitando as regulamentações trabalhistas.
- **Visualização de Resultados:** A aplicação exibe os resultados da otimização, incluindo a quantidade de horas por quinzena para cada categoria de profissionais, o total de horas trabalhadas, o percentual de enfermeiros e gráficos da evolução do fitness ao longo das gerações e da distribuição de turnos por categoria.
- **Ranking dos Melhores Resultado:** A aplicação apresenta os três melhores resultados calculados, com o objetivo de permitir que o responsável pela organização da escala explore diferentes opções com diferentes escalas e escolha a que melhor se adequa ao seu cenário, como mostrado na Figura 4.

Ranking

## Top 3 Melhores Resultados

### Resultado 1

Fitness: 6.297435897436442

	Categoria	Quantidade	Horas por quinzena
0	Enfermeiros 12x36	5	420
1	Enfermeiros 6x1	9	792
2	Técnicos 12x36	23	1932
3	Técnicos 6x1	2	176

Horas totais: 3320

Horas necessárias: 3316.5999999999995

Diferença: 3.408888888888889

Percentual enfermeiros: 35.8974358974359 %

Percentual necessária: 33.0 %

### Resultado 2

Fitness: 6.297435897436442

	Categoria	Quantidade	Horas por quinzena
0	Enfermeiros 12x36	8	672
1	Enfermeiros 6x1	6	528
2	Técnicos 12x36	20	1680
3	Técnicos 6x1	5	440

Horas totais: 3320

Figura 4: Ranking das melhores soluções encontradas pelo algoritmo. Fonte: Os autores

Foram realizados diversos testes para definir os melhores valores dos parâmetros do algoritmo genético, com avaliação da convergência da função de aptidão para um valor satisfatório e sua velocidade de convergência. Os parâmetros escolhidos após os testes são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros do algoritmo genético.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Tamanho da população	400
Probabilidade de crossover	0,95
Probabilidade de mutação	0,30
Número de gerações	100
Tamanho do torneio	3
Tipo de cruzamento	Two-Point
Tipo de mutação	Uniform
Critério de parada	< 5.00

## 6 Resultados e Discussões

Para avaliar os resultados da implementação, foi primeiro considerado um caso em que há maioria de Pacientes de Cuidados Mínimos (PCM) e Intermediários (PCI), simulando o funcionamento de uma ala de internação em condições normais. Em seguida, foi considerado um caso em que há apenas Pacientes de Cuidados Semi-Intensivos (PCSI) e Intensivos (PCIt), sendo a grande maioria PCIt. Esse cenário é mais comum em CTIs (Centros de Terapia Intensiva).

A evolução das soluções ao longo das gerações pode ser observada através do menor valor de fitness de cada geração, ilustrado nas Figuras 5 e 6. É possível observar que esse valor diminui ao longo das gerações, comportamento esperado para um problema de minimização.

### 6.1 Cenário 1: Ala de internação

A configuração de pacientes usada no teste é mostrada na tabela Tabela 3. O THE calculado para esse caso é de 3320 horas e a porcentagem de enfermeiros é de 33%, pois há uma maioria de pacientes PCM.

Tabela 3: Quantidade de pacientes por complexidade para o cenário 1

	<b>PCM</b>	<b>PCI</b>	<b>PCAD</b>	<b>PCSI</b>	<b>PCIt</b>	<b>Total</b>
<b>Nº de pacientes</b>	20	11	5	1	0	
<b>Demanda (h)</b>	4	6	10	10	18	
<b>HE por dia (h)</b>	<b>80</b>	<b>66</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>206</b>

A solução encontrada pelo algoritmo é formada por mais profissionais que trabalham na escala 12x36 (Tabela 4) e satisfazem os critérios de horas e proporção de enfermeiros necessários com valores muito próximos dos valores requeridos, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 4: Melhor solução encontrada para o cenário 1

<b>Categoria</b>	<b>Quantidade</b>	<b>HE para 14 dias</b>
Enfermeiros 12x36	11	924
Enfermeiros 6x1	2	176
Técnicos 12x36	17	1428
Técnicos 6x1	9	792
<b>THE</b>		<b>3320</b>

Tabela 5: Resultados da melhor solução para o cenário 1

<b>Critério</b>	<b>Requeridos</b>	<b>Obtido</b>	<b>Diferença</b>
THE	4985,8	4960	<b>3,4</b>
% de enfermeiros	52%	33.33%	<b>0,33%</b>
<b>Valor de fitness</b>			<b>3,73</b>

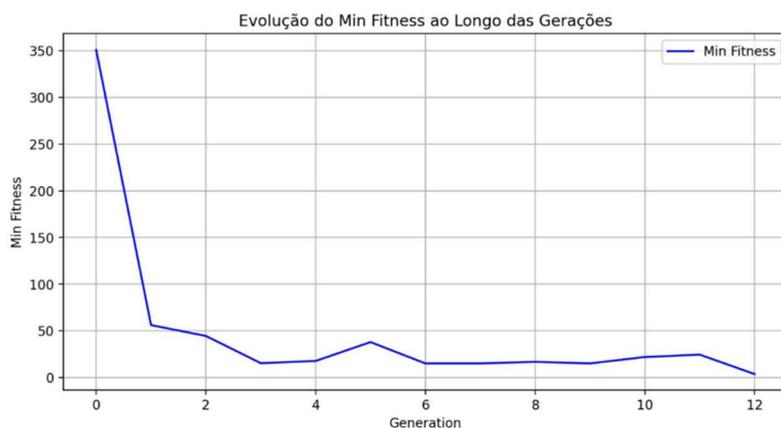


Figura 5: Evolução do valor das penalidades (fitness) das soluções ao longo das gerações para o Cenário 1.  
Fonte: Os autores

## 6.2 Cenário 2: CTI

A configuração de pacientes usada no teste é mostrada na tabela Tabela 6. O THE calculado para esse caso é de 4960 horas e a porcentagem de enfermeiros é de 52%, pois há uma maioria de pacientes PCI.

Tabela 6: Quantidade de pacientes por complexidade para o cenário 2

	PCM	PCI	PCAD	PCSI	PCI <sub>t</sub>	Total
<b>Nº de pacientes</b>	0	0	0	2	16	
<b>Demanda (h)</b>	4	6	10	10	18	
<b>HE por dia (h)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>288</b>	<b>308</b>

Nesse caso, a solução encontrada pelo algoritmo tem uma maioria de profissionais que trabalham na escala 6x1 (Tabela 7) e satisfazem os critérios de horas e proporção de enfermeiros necessários com valores muito próximos dos valores requeridos, como mostrado na Tabela 8.

Tabela 7: Melhor solução encontrada para o cenário 2

Categoria	Quantidade	HE para 14 dias
Enfermeiros 12x36	2	168
Enfermeiros 6x1	28	2464
Técnicos 12x36	12	1008
Técnicos 6x1	15	1320
<b>THE</b>		<b>4960</b>

Tabela 8: Resultados da melhor solução para o cenário 2

Critério	Requeridos	Obtido	Diferença
Enfermeiros 12x36	4958,8	4960	<b>1,2</b>
Enfermeiros 6x1	52%	53,45%	<b>1,45%</b>
<b>Valor de fitness</b>			<b>2,65</b>

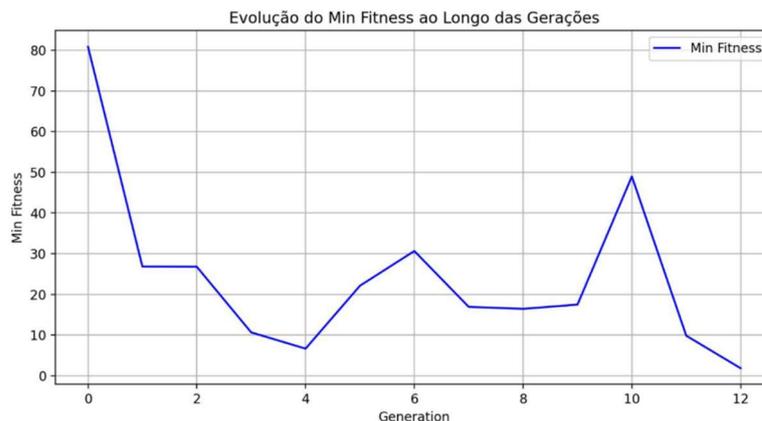


Figura 6: Evolução do valor das penalidades (fitness) das soluções ao longo das gerações para o Cenário 2.  
Fonte: Os autores

## 7 Conclusões

Nesse artigo foi apresentada uma solução para o problema de dimensionamento de enfermagem que atende aos requisitos impostos pelas normas técnicas do COFEN ao mesmo tempo que respeita a legislação trabalhista brasileira. A implementação proposta usa algoritmos genéticos para buscar uma solução que enfermeiros e técnicos de enfermagem trabalhando na escala 12x36 e na escala 6x1. Para os cenários simulados na seção anterior o algoritmo chega a resultados satisfatórios em relação aos critérios definidos pela COFEN.

Uma perspectiva interessante para pesquisa futura é estender o modelo para considerar minimização de custo na função de aptidão, considerando cenários em que há adicional por insalubridade, adicional noturno ou horas extras, comuns em contextos hospitalares. Outra possibilidade é estender e/ou modificar o modelo para considerar setores que prestam outros tipos de serviço de saúde, como Centros de Atenção Psicossocial (CAPS) - voltados para cuidados com saúde mental - que têm regras ligeiramente semelhantes às das UIs, apresentadas neste artigo.

## 8 Referências Bibliográficas

Brasil. 1943. *Consolidação das leis do trabalho, artigo 7º*. [https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/535468/clt\\_e\\_normas\\_correlatas\\_led.pdf](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/535468/clt_e_normas_correlatas_led.pdf)

Brasil. 1943. *Consolidação das leis do trabalho, artigo 59-a*. [https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/535468/clt\\_e\\_normas\\_correlatas\\_led.pdf](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/535468/clt_e_normas_correlatas_led.pdf)

Braz, C. S., and Giacomini, P. 2024. *Nurse workforce planning interface code*. <https://github.com/camilasbraz/nurse-workforce-planning>.

COFEN. 2017. *Parecer normativo N° 004/2017/COFEN*. <https://www.cofen.gov.br/parecer-normativo-no-0042017/>

COFEN. 2024. *Parecer normativo N° 1/2024/COFEN*. <https://www.cofen.gov.br/parecer-normativo-no-1-2024-cofen/>

Eiben, A.E., Smith, J.E. 2015. *Introduction to Evolutionary Computing*. Springer, Second Edition.

Hakim, L., Bakhtiar, T., et al. 2017. *The nurse scheduling problem: a goal programming and nonlinear optimization approaches*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2017), vol. 166, IOP Publishing, p. 012024.

Leksakul, K., Phetsawat, S., et al. 2014. *Nurse scheduling using genetic algorithm*. Mathematical Problems in Engineering.

Numerapeople analytics. 2024. <https://numerapeopleanalytics.com.br>