



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

HEDIVIGEM LUANA RODRIGUES DA SILVA

**ABORDAGENS HEURÍSTICAS PARA PLANEJAMENTO E
ESCALONAMENTO DE EQUIPES MÉDICAS EM CIRURGIAS ELETIVAS**

**SUMÉ - PB
2023**

HEDIVIGEM LUANA RODRIGUES DA SILVA

**ABORDAGENS HEURÍSTICAS PARA PLANEJAMENTO E
ESCALONAMENTO DE EQUIPES MÉDICAS EM CIRURGIAS ELETIVAS**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Produção.

Orientador: Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras Silva.

**SUMÉ - PB
2023**



S586a Silva, Hedivigem Luana Rodrigues da.
Abordagens heurísticas para planejamento e
escalonamento de equipes médicas em cirurgias eletivas.
/ Hedivigem Luana Rodrigues da Silva. - 2023.

51 f.

Orientador: Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras
Silva.

Monografia - Universidade Federal de Campina
Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do
Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Pesquisa operacional aplicada a serviços de
saúde. 2. Healthcare optimization. 3. Gestão de
recursos. 4. Alocação de funcionário. 5. Serviços de
saúde - pesquisa operacional. I. Silva, Yuri Laio
Teixeira Veras. II. Título.

CDU: 519.8(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

HEDIVIGEM LUANA RODRIGUES DA SILVA

**ABORDAGENS HEURÍSTICAS PARA PLANEJAMENTO E
ESCALONAMENTO DE EQUIPES MÉDICAS EM CIRURGIAS ELETIVAS**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA:

Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras Silva
Orientador - UAEP/CDSA/UFCG

Professora Ma. Luana Marques Souza Farias
Examinadora 01 - UAEP/CDSA/UFCG

Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo
Examinadora 02 - UAEP/CDSA/UFCG

Aprovado em: 16 de fevereiro de 2023.

SUMÉ – PB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus por todas as bênçãos alcançadas, pelas pessoas iluminadas que colocou na minha trajetória, por me fornecer força e fé sempre para enfrentar sem desanimar todas as adversidades da vida. És meu refúgio, sempre darei graças por teu amor incondicional e por tanto.

Aos meu pais Angela e Heleno, que são a razão de tudo, de cada realização que só foi possível pelo apoio e amor que me ofertaram, estando presentes em todas as dificuldades e alegrias que esse sonho vem proporcionando, longe ou perto, sempre me ensinando a lutar por tudo que almejo e me fazendo crer na realização desses objetivos. Gratidão por me fortalecerem em cada decisão e por não medirem esforços para que conseguisse chegar até aqui. Essa conquista é nossa.

Aos meus familiares, principalmente meu irmão que me incentivou a dar o primeiro passo, sendo meu primeiro incentivador, agradeço por todo amor, companheirismo e apoio fornecido durante essa caminhada. Ao meu tio Dé (*in memorian*) e a minha avó Quitéria (*in memorian*) por terem sido os maiores incentivadores dos meus estudos e por todos os momentos incríveis que me ofereceram, dando apoio e amor por todos os dias que convivemos. Aos meus primos e tios, sou muito grata pela vida de vocês. Lala obrigado por todo apoio, cuidado e por ser tão amiga durante o percurso até aqui. A minha comadre Cida e meu afilhado Plinyo por se fazerem presentes em todos os momentos, com muito amor e carinho.

Aos amigos que Sumé me proporcionou e tornaram o percurso mais divertido (Adilson, Corina, Gustavo, Higor, Hellen, Larissa, Marcelo, Matheus, Keren e Rian). E a todos os colegas que ganhei na ProdUP Jr., em especial para o meu amigo Iggor que esteve do meu lado desde o início desse desafio. A Maria Valéria que foi minha companheira de projeto de pesquisa.

Aos presentes que a universidade e Deus me proporcionou, que levarei para a vida toda, Jordana, Manoel, Marcielly e Sandy, gratidão por cada momento compartilhado, por todo o companheirismo, obrigada por deixarem tudo mais leve, mesmo nas dificuldades que a rotina proporcionava.

Aos meus “da escola para a vida” que apesar da distância sempre se fizeram presentes, me dando apoio, amizade e amor (Amanda, Arthur, Daniel, Lara, Maria

Augusta, Mikaelle e Munyra). As minhas amigas de apartamento que tenho um carinho enorme (Isabella e Liane).

A Júlio por todo incentivo e companheirismo que foi essencial para essa etapa da minha vida, por todas as noites em claro, por ser paciência e calma nos meus momentos de surtos, sempre exaltando minhas pequenas vitórias e não deixando desistir dos meus sonhos.

Ao meu professor e orientador Yuri Laio, que aceitou me direcionar neste desafio, com muita dedicação, apoio, paciência, disponibilidade e simplicidade, o que tornou esta experiência enriquecedora. Gratidão por todo o conhecimento adquirido durante as aulas, os projetos e este trabalho.

Aos professores, funcionários do CDSA e os demais colegas, que participaram desse período de formação compartilhando conhecimentos e experiências, contribuindo na minha formação profissional e pessoal.

Muito obrigado a todos!

“Eu te louvarei, Senhor, de todo o meu coração; contarei todas as tuas maravilhas”.

Salmos 9:1.

RESUMO

Em períodos de pandemias e epidemias ampliam-se as dificuldades da gestão feita de modo eficiente dos recursos de saúde. Por isso, soluções matemáticas e computacionais que resultem em um melhor aproveitamento dos recursos tornam-se relevantes. Nesta perspectiva, o objetivo principal deste estudo é a construção de um algoritmo que permita realizar a alocação eficiente de profissionais para procedimentos cirúrgicos, com base nas competências e preferências dos especialistas, e respeitando as restrições de demanda hospitalar. Para isso, foi construído um algoritmo bifásico composto de duas heurísticas utilizando a linguagem de programação VBA, na primeira fase é utilizada uma heurística gulosa e na segunda a heurística de busca local. O algoritmo foi aplicado em dois hospitais reais e os resultados encontrados foram satisfatórios, possibilitando que a ferramenta seja utilizada como apoio á tomada de decisão na gestão dos hospitais. Ressalta-se ainda que em mais de 85% dos casos os colaboradores foram designados para setores que possuíam notas entre média e alta, o que resulta em uma melhoria do bem-estar, da satisfação pessoal/profissional e na promoção de ambientes de trabalho mais seguros, com equilíbrio de carga horária.

Palavras-chave: *Healthcare optimization*; Gestão de recursos; Alocação de funcionários.

ABSTRACT

In periods of pandemics and epidemics, the difficulties of efficiently managing health resources increase. Therefore, mathematical and computational solutions that result in a better use of resources become relevant. In this perspective, the main objective of this study is the construction of an algorithm that allows the efficient allocation of professionals for surgical procedures, based on the competences and preferences of the specialists, and respecting the hospital demand restrictions. For this, a biphasic algorithm composed of two heuristics was built using the VBA programming language, in the first phase a greedy heuristic is used and in the second the local search heuristic. The algorithm was applied in two real hospitals and the results found were satisfactory, allowing the tool to be used as a support for decision making in hospital management. It should also be noted that in more than 85% of cases, employees were assigned to sectors that had grades between medium and high, which results in an improvement in well-being, personal/professional satisfaction and the promotion of more insurance, with workload balance.

Keywords: Healthcare optimization; Resource Management; Staff Assignment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da caracterização da pesquisa.....	29
Figura 2 - Etapas do estudo.....	31
Figura 3 - Representação da heurística gulosa.....	36
Figura 4 - Pseudocódigo de construção da solução inicial.....	36
Figura 5 - Representação da heurística de vizinhança de busca local <i>SWAP</i>	37
Figura 6 - Pseudocódigo da vizinhança de busca local <i>SWAP</i>	38
Figura 7 - Pseudocódigo de Construção da Perturbação.....	39
Figura 8 - Pseudocódigo da verificação da demanda.....	40
Figura 9 - Comparativo dos maiores e menores scores dos hospitais.	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Exemplo Respondido.....	34
Quadro 2 -	Quadro de funcionários e setores dos hospitais.....	41
Quadro 3 -	Demandas setoriais – Hospital A.....	41
Quadro 4 -	Demandas setoriais – Hospital B_1.....	42
Quadro 5 -	Demandas setoriais – Hospital B_2.....	42
Quadro 6 -	Resultados computacionais para as instâncias tratadas....	43
Quadro 7 -	Análise de eficiência das heurísticas na alocação dos setores com base no score.....	44

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DE	<i>Differential Evolution</i>
GA	<i>Genetic Algorithm</i>
HABC	<i>Hybrid Artificial Bee Colony</i>
ILS	<i>Iterated Local Search</i>
LP	<i>Linear Programming</i>
MAPA	<i>Multiple Aggregation Prediction Algorithm</i>
MILP	<i>Mixed Integer Linear Programming</i>
MIP	<i>Mixed-Integer Programming</i>
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i>
SA	<i>Simulated Annealing</i>
SCA	<i>Sine Cosine Algorithm</i>
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
VNS	<i>Variable Neighborhood Search</i>
WCSP	<i>Weighted Constraint Satisfaction Problem</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	16
2.3	JUSTIFICATIVA.....	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
3.2	TRABALHOS RELACIONADOS.....	20
4	METODOLOGIA.....	29
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	29
4.2	ETAPAS DA PESQUISA.....	30
5	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	33
5.1	DESCRIÇÃO GERAL.....	35
5.1.1	Solução Inicial.....	35
5.1.2	Vizinhança de busca local <i>swap</i>.....	37
5.1.3	Perturbação.....	38
5.1.4	Mecanismo de Avaliação.....	39
6	DESENVOLVIMENTO.....	41
6.1	INSTÂNCIAS ADOTADAS PARA OS TESTES.....	41
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

Em tempos de grandes pandemias e epidemias, onde é acentuada a escassez de recursos em geral, soluções matemáticas e computacionais que proporcionem uma melhor eficiência na gestão se tornam ainda mais importantes. Em vista disso, é perceptível o crescimento exponencial de pesquisas em *healthcare optimization* nos últimos anos, visto que a temática é uma das mais promissoras devido a sua complexidade e a sua relevância na resolução de problemas, diretamente interligado com a crescente demanda por melhorias de processos e maior eficiência na utilização de recursos nos sistemas de saúde no mundo (Liu *et al.*, 2018).

A busca pela melhoria contínua tornou-se imprescindível em todos os setores de serviços, dada a atual conjuntura do mercado. Os avanços tecnológicos e o desenvolvimento de ferramentas de gestão surgiram como importantes aliadas, possibilitando a otimização de processos, diminuição dos custos e aumento da produtividade de organizações que buscam estar em constante aperfeiçoamento. Consequentemente, a utilização de sistemas de gestão de recursos apropriados, pode ser vista como um ponto importante para as inúmeras áreas de uma organização, sendo capaz de influenciar na tomada de decisão quanto ao planejamento por completo.

Em diversas regiões do Brasil é notória uma carência relacionada aos recursos humanos e materiais quando são analisadas as redes de atendimento à saúde. E em períodos de pandemia, em que os recursos se tornam ainda mais escassos, evidencia-se a complexidade do gerenciamento eficiente, pois surgem mais variáveis (econômicas, estruturais, logísticas etc.) a serem consideradas, que tornam mais dificultosa a administração dos centros hospitalares. Diante disso, as soluções que visam a melhoria da saúde têm ganhado mais atenção, a fim de oferecer serviços mais eficientes e com custo mais baixo (Fei; Chu, 2010; Rais; Viana, 2011).

Os ambientes hospitalares apresentam diversas variáveis que devem ser levadas em consideração no momento de realizar o direcionamento de funcionários para o setor que vai atuar, como o número limitado de profissionais qualificados, o risco de alocação para uma área indesejável, além da necessidade de designar bons horários devido a importância desse fator para proporcionar cuidados e

potencialmente melhorar taxa de permanência de funcionários (Rasip *et al.*, 2015).

Os serviços hospitalares funcionam 24 horas por dia, assim, a capacidade de desenvolver um bom cronograma para as equipes é fundamental, equilibrando as necessidades da organização e respeitando as obrigações legais com seus funcionários. Sabendo que a gestão de equipes está diretamente ligada com a qualidade e o nível de satisfação do paciente, deve-se procurar os profissionais e as tecnologias mais adequadas para o serviço, a fim de proporcionar um ótimo ambiente de trabalho, com maior produtividade e, assim, proporcionar atendimentos com maior taxa de aprovação (Chen *et al.*, 2020).

O escalonamento de equipes médicas é uma técnica de construção da codificação de turnos de trabalho para os funcionários, com intuito de garantir que todas as solicitações sejam atendidas. A jornada de trabalho adicional pode ter uma influência significativa na saúde e no bem-estar dos funcionários, afetando assim a produtividade, em consequência os hospitais estão procurando organizar os horários de modo que não sobrecarregue seus colaboradores. Diante disso, diversos fatores devem ser considerados ao planejar um horário de turno pessoal, o que pode originar um problema muito complexo, dificultando a obtenção da melhor solução dentro de um prazo razoável. As organizações possuem diferentes objetivos e restrições, o que frequentemente significa que modelos e algoritmos específicos devem ser desenvolvidos para cada uma delas, de acordo com suas particularidades (Mohd *et al.*, 2015).

A maioria dos hospitais enfrentam o desafio de agendar a equipe médica em sua forma mais primária, que envolve a atribuição de turnos e dias a seus empregados para atender a um conjunto específico de restrições. Esse conjunto de restrições podem ser determinadas pelas políticas que geralmente variam de uma instituição para outra. À medida que é aumentada a quantidade de recursos para sucesso de cada cronograma, pode tornar a problemática mais complexa, pelo fato de gerar grande quantidade de restrições, levando à identificação de cronogramas mais restritos e de objetivos conflitantes. A classe de problemas de agendamento de equipes médicas é conhecida pelo rápido crescimento no número de soluções potenciais, e o crescimento moderado nos recursos disponíveis a serem escalonados é conhecido como um problema *NP - Hard* devido a complexidade de sua resolução (Rasip *et al.*, 2015).

A gestão de recursos eficientes é um dos fatores mais cruciais para as empresas otimizarem os seus serviços. Nos ambientes hospitalares isso não é diferente, as técnicas de alocação de funcionários vêm passando por processos de melhorias no decorrer dos anos, a partir do desenvolvimento de sistemas inovadores para o apoio à tomada de decisão, que visam fazer a destinação dos recursos da forma mais efetiva (Chen *et al.*, 2020). Por isso, diversas abordagens de otimização vêm sendo estudadas e desenvolvidas ao longo dos últimos anos, tanto baseadas em métodos exatos, como fundamentadas em metaheurísticas (Wu *et al.*, 2015). Desta forma, o escalonamento de equipes médicas e de enfermagem pode vir a ser feito a partir da construção de algoritmos computacionais que fazem a alocação de turnos de trabalho para os funcionários de forma eficiente, a fim de garantir que todas as variáveis sejam atendidas (Mohd *et al.*, 2015).

Nesse sentido, a pesquisa em questão visa desenvolver abordagens heurísticas para a resolução de problemas de alta complexidade e dimensão de designação de equipes de saúde em redes hospitalares. As abordagens fundamentadas buscam dar apoio à tomada de decisão sobre recursos físicos e humanos dentro dos sistemas de saúde, a partir das melhores ferramentas computacionais de otimização e práticas intuitivas, utilizando de algoritmos heurísticos para a elaboração de algoritmos que sejam capazes de realizar o planejamento e escalonamento de equipes médicas em cirurgias eletivas.

2 OBJETIVOS

Com o intuito de apresentar soluções para o desafio de pesquisa acima mencionado, o estudo visa atingir os seguintes objetivos:

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente projeto de pesquisa objetiva desenvolver abordagens de apoio a tomada de decisão, fundamentadas em heurísticas de busca local para problemas de alocação e escalonamento de equipes de saúde em redes hospitalares.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Mapeamento da literatura acerca de abordagens computacionais de inteligência artificial, simulação e otimização voltados para a resolução de problemas de escalonamento de profissionais de saúde em redes hospitalares;

Formular matematicamente o problema a ser tratado, incluindo seus objetivos e conjuntos de restrições, de acordo com os critérios e as necessidades identificadas como significativas para uma eficiente gestão de recursos hospitalares;

Implementar os algoritmos de otimização, fundamentados em metaheurísticas busca local iterada;

Coleta de dados na literatura, de modo a construir um banco de dados com problemas significativos e reais, de modo a fomentar e investigar o nível de resolutividade e aplicação das abordagens de otimização propostas;

Analisar os resultados alcançados com a aplicação das abordagens desenvolvidas nos problemas considerados, tanto em termos de ganhos operacionais, como computacionais, de desempenho, financeiros e/ou de qualidade do serviço prestado;

2.3 JUSTIFICATIVA

A busca por melhores índices de eficiência na gestão hospitalar é um tema extremamente relevante para a sociedade nos dias atuais, principalmente no Brasil, onde pode ser constatado um déficit significativo de recursos materiais e humanos na rede de atendimento à saúde em diversas regiões do país. Tal fato pode ser constatado de forma ainda mais acentuada quando trata-se de procedimentos cirúrgicos (BARROS, 2016). Ambientes de epidemias tendem a enfatizar ainda mais

tais dificuldades de gerenciamento, uma vez que, além das dificuldades operacionais padrões inerentes à gestão hospitalar, há uma série de novos desafios logísticos, econômicos e estruturais associados à nova realidade.

Neste sentido, problemas de escalonamento e alocação de equipes de saúde têm ganhado relevância na busca por uma melhor eficiência na gestão de recursos humanos em redes hospitalares. Via de regra, os problemas consistem em projetar cronogramas periódicos (diárias, semanais ou mensais) para equipes de saúde considerando uma série de restrições e objetivos existentes na organização de saúde. A definição de um cronograma factível deve satisfazer um conjunto de restrições que refletem os regulamentos locais associados ao hospital, políticas de recursos humanos, preferências dos profissionais, competências associadas às áreas de atuação, bem como outros requisitos específicos do ambiente aplicado (M'hallah; Alkhabbaz, 2013). Tal problema também pode ser generalizado a diversos profissionais de saúde, como enfermeiros, fisioterapeutas, médicos, entre outros.

A maximização das competências e preferências nas atividades e cargos desses profissionais é um tema peculiar e bastante prevalente nas redes de saúde. De maneira geral, pode-se notar que esses profissionais possuem diferentes níveis de competência e proficiência para uma variedade de tarefas e procedimentos, bem como preferências pessoais para o engajamento em determinadas atividades.

A problemática fundamenta-se na otimização multiobjetivo desses fatores para alcançar maiores índices de competências gerais e, ao mesmo tempo, buscar maior satisfação pessoal dos profissionais envolvidos. Os principais desafios no processo de tomada de decisão decorrem da grande quantidade de restrições operacionais que podem ser efetivamente mapeadas e modeladas no modelo de programação de modelo linear mista. Essas restrições têm um impacto significativo na complexidade e dimensão dos dados e variáveis envolvidas no problema, tanto matematicamente, quanto computacionalmente.

O projeto dispôs-se a proporcionar um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis em um momento de extrema necessidade de saúde pública, otimizando sua colocação de acordo com a demanda existente em vários ambientes de tratamento hospitalar.

Nesse contexto, o estudo iniciou-se com a introdução abordando as temáticas abordadas na pesquisa, descrevendo o problema, apresentando os objetivos gerais e específicos, a justificativa para a realização da pesquisa e a estrutura do trabalho.

Seguidamente, consta o referencial teórico, construído a partir de uma revisão bibliográfica sobre as problemáticas de Healthcare Optimization e também as direcionadas às heurísticas utilizadas na pesquisa. Após essa seção, tem a metodologia praticada, começando com a caracterização da pesquisa e das etapas necessárias para a estruturação dos conceitos estratégicos que descrevem o problema em questão. Em seguida, foi apresentada uma sucinta explanação das etapas envolvidas na construção do algoritmo e como as atividades de desenvolvimento foram organizadas por meio de etapas. Além das informações relacionadas a coleta e análise de dados.

Na quarta seção, o problema abordado é apresentado, bem como as heurísticas e técnicas de otimização usadas para a resolução, todas estruturadas em pseudocódigos. Posteriormente, estão o desenvolvimento e os resultados, detalhando como foram coletados e analisados os dados, respectivamente. Finalizando com as conclusões do trabalho executado.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Problemáticas decorrentes da gestão ineficiente dos recursos hospitalares estão presentes em todo o planeta (Liu *et al.*, 2018). Em períodos pandêmicos, em que os recursos em geral tornam-se escassos, evidencia-se mais a necessidade da criação de soluções matemáticas e computacionais que colaborem com a melhoria da gestão desses bens.

Estas soluções podem ter diversos objetivos, como a melhoria da eficiência dos hospitais, a otimização dos atendimentos profissionais nos centros cirúrgicos e o equilíbrio da carga horária das equipes médicas ou de enfermagem (Awadallah *et al.*, 2015). Diante disso, é importante estabelecer horários e locais para os profissionais de saúde e/ou seus equipamentos em horários e/ou turnos de trabalho específicos.

Assim, soluções que visem melhorias no escalonamento de grupos de profissionais da saúde têm recebido mais relevância pelas instituições hospitalares de todo o mundo (Burke *et al.*, 2008), inclusive, os problemas de escalonamento de enfermeiros têm recebido quantidades significativas de pesquisa (Strandmark; Curtois, 2020). As problemáticas a serem solucionadas consistem na projeção de cronogramas periódicos factíveis para as equipes de saúde, que considerem as restrições (regulamentos locais, políticas de recursos humanos, preferências profissionais etc.) das instituições de saúde (M'hallah; Alkhabbaz, 2013).

Um problema específico e recorrente dos hospitais consiste na otimização multiobjetivo das competências e das preferências dos profissionais da saúde (Awadallah *et al.*, 2015). Os maiores obstáculos deste processo decisório são decorrentes das restrições operacionais que precisam ser mapeadas e modeladas no modelo de programação linear inteira mista, que potencializam a complexidade e a dimensão de dados e variáveis incluídos na problemática, de modo que, como apontam Burke *et al.* (2008), sejam geradas soluções de qualidade.

3.2 TRABALHOS RELACIONADOS

Gür e Eren (2018) por meio de uma revisão avaliaram 170 artigos da maioria dos estudos da literatura, desde 2000 até os dias atuais, sobre o agendamento e planejamento de salas de cirurgia. Enquanto isso, Özder, Özcan e Eren (2020) trazem luz, a partir de revisão sistemática da literatura, para a necessidade de um escalonamento que vise superar as deficiências dos grupos que realizam atividades auxiliares na produção de bens e serviços, visto que uma distribuição do trabalho justa entre os funcionários colabora com um maior desempenho dos colaboradores. Ademais, tem-se que Abdalkareem *et al.* (2021) propuseram uma revisão da literatura sobre os problemas mais recentes relacionados ao escalonamento de assistências médicas, tendo seu foco voltado para as problemáticas de agendamento de pacientes, de agendamento de enfermeiros e de agendamento de sala de cirurgia.

Segundo Abobaker, Ayob e Hadwan (2011), o problema de escalação de enfermeiras é um dos problemas complexos de se resolver para um desempenho ideal. Baseado na construção de dois padrões de duas semanas de duração que satisfazem todas as restrições e uma variedade de restrições leves. O primeiro padrão é projetado principalmente para fornecer cobertura do turno noturno, enquanto o segundo padrão se preocupa apenas com os turnos da manhã e da noite. Se a solução não for viável (por exemplo, se a cobertura não for atendida), um algoritmo de reparo, o *Simulated Annealing* (SA), é usado até que uma solução viável seja encontrada.

Enquanto isso, Liu *et al.* (2018) propuseram um algoritmo heurístico de SA para o serviço de hemodiálise, tendo como objetivo a designação de enfermeiros multiníveis para atender à demanda de diferentes funções, incluindo o número de enfermeiros e os níveis de qualificação necessários. Para isso, foram utilizadas as heurísticas SA e *Hybrid artificial bee colony* (HABC). Os resultados mostraram que o SA e o HABC respectivamente têm vantagens em problemas de diferentes escalas, e a SA roda mais rápido que a HABC.

Kletzander e Musliu (2020) propuseram uma estrutura generalizada para a problemática de escalonamento de funcionários utilizando, assim como Liu *et al.* (2018), a heurística SA. Para mostrar a diversidade de aplicabilidade do código construído, os autores pegaram diferentes problemas da literatura, traduziram as

suas instâncias para seus códigos e aplicaram os seus algoritmos. Como resultado, obteve-se que para uma classe de problemas o modelo proposto pode obter melhores soluções do que as encontradas na literatura como referência (Kletzander; Musliu, 2020).

Outrossim, Chen e Zeng (2020) pesquisaram sobre o problema de escalonamento de enfermeiros e propuseram dois algoritmos híbridos, com vista a gerar melhores soluções iniciais em um menor espaço de tempo e com melhor qualidade. São analisados dois cenários e dois algoritmos metaheurísticos: algoritmo de morcego e otimização de enxame de partículas (PSO). Os resultados mostram que o algoritmo de morcego (ou PSO) em conjunto com o método de árvore de decisão e o algoritmo de busca gulosa pode gerar melhores soluções iniciais em menos tempo e melhorar a qualidade das soluções.

Chen *et al.* (2021), apresentaram uma pesquisa que estudava uma problemática de agendamento das equipes médicas. Para isso, o estudo desenvolveu três algoritmos (BA1, BA2 e BA3) diferentes com a lógica da heurística de morcegos, visando minimizar a insatisfação da equipe médica e colaborar com o equilíbrio da carga de trabalho. Como resultado obteve-se que o algoritmo BA3 superou os algoritmos BA1 e BA2 e o algoritmo PSO.

Similarmente, foi proposta uma heurística *swap* ao problema de escala de equipes de enfermagem, a fim de que se crie listas de enfermeiros viáveis e eficientes. O algoritmo proposto desempenha melhores resultados do que seis diferentes abordagens existentes aplicadas às mesmas instâncias, utilizando os mesmos critérios de avaliação de desempenho. Ademais, em todos os casos analisados conseguiu-se atingir o nível de aptidão mais conhecido na literatura e em um caso superou a aptidão mais conhecida até o momento (Solos; Tassopoulos; Beligiannis, 2013).

Mais recentemente, Legrain, Bouarab e Lahrichi (2015), apresentaram um estudo prático, em que por meio da aplicação da heurística *swap*, foi realizado o agendamento de equipes de enfermagem para dois tipos de equipes de enfermeiros, os grupos regulares das unidades assistenciais e o conjunto de profissionais flutuante que cobre faltas no hospital. Como resultado, obteve-se que as preferências dos enfermeiros são mais respeitadas do que nas abordagens manuais (que eram realizadas pelo gerente do hospital no momento da pesquisa), além de que o requisito de cotas para cada turno está mais próximo de ser alcançado e

geralmente a qualidade das soluções é melhorada.

Do mesmo modo, o estudo de Michael, Jeffery e David (2015) apresenta a estrutura de uma heurística de busca local iterativa (ILS) aplicada a um sistema de escalonamento de enfermeiros baseado em agentes. O sistema proposto respeita uma variedade de considerações da equipe de enfermagem, incluindo os dias de folga informais solicitados, as preferências por dias da semana de folga e as preferências por números específicos de dias consecutivos de folga. Como resultado obteve-se que o nível de satisfação dos enfermeiros com o novo método é mais elevado quando comparado à prática de agendamento no momento em que foi realizada a pesquisa.

Chiaramonte e Caswel (2016) com o uso da heurística ILS apresentaram um sistema de escalonamento e reescalonamento de enfermeiros. Como resultado, os autores obtiveram que as soluções geradas impediram a redução do nível de satisfação em mais da metade das execuções experimentais, além de que o algoritmo encontrou soluções para mais de 90% de todas as interrupções e mais de 98% das interrupções foram corrigidas. Em sua pesquisa, Haddadi (2019) propôs um método trifásico, a heurística *Variable-fixing*, a ILS e o solucionador de MIP (Mixed-Integer Programming) de uso geral. A análise do resultado mostra que o método trifásico proposto supera quatro métodos recentes existentes e é bem mais rápido do que um solver comercial de uso geral.

Ademais, Mohd Rasip *et al.* (2014) propuseram no seu trabalho o aprimoramento do processo de agendamento de enfermeiros utilizando a heurística otimização de enxame de partículas (PSO), visando gerar um escalonamento mais eficiente. Como resultados, os autores obtiveram que as múltiplas organizações foram geradas com o menor custo de violação das restrições.

Chen *et al.* (2020) reuniram recursos para alocar a equipe médica entre as agências hospitalares. A primeira fase propõe três algoritmos heurísticos para alocação de pessoal médico: HRA1 (alocação de recursos humanos com base no tamanho do hospital), HRA2 (alocação de recursos humanos com base na alocação média) e HRA3 (alocação de recursos humanos com base na gravidade da penalidade). A segunda etapa utilizou o algoritmo PSO para agendar a equipe médica em um prazo razoável. Como resultado, obteve-se que o HRA3 é superior ao HRA1 e ao HRA2.

Por outro lado, Wong, Xu e Chin (2014) propõem uma abordagem heurística de duas etapas baseada em planilhas do Excel para o gerenciamento de problemas de enfermagem em um departamento de emergência local. Primeiro, foi realizada uma simples atribuição de turnos por meio de um algoritmo que satisfaz todas as restrições regulatórias. Em segundo lugar, um algoritmo de pesquisa sequencial local é usado para melhorar os cronogramas iniciais. Como resultado, os autores obtiveram que a abordagem proposta organiza cronogramas satisfatórios, mais fáceis de serem utilizados.

Zhong, Zhang e Zhang (2017) construíram uma heurística de dois estágios, com o objetivo de gerar escalas de enfermeiros alocados nos turnos de fim de semana da maneira mais uniforme possível, visando obter resultados que primam pela economia de custos, pela flexibilidade e pela justiça das atribuições. Akbarzadeh *et al.* (2020), com o objetivo de usar o departamento cirúrgico da maneira mais eficiente possível e maximizar o lucro da sala de cirurgia, propuseram uma heurística de duas fases que utiliza a solução de programação linear (LP) obtida pela geração de colunas para construir uma solução viável e de alta qualidade. A abordagem é capaz de produzir soluções (quase) ótimas e comparar o procedimento com outras metodologias de otimização e solução.

Além disso, Causmaecker e Berghe (2004) desenvolveram algoritmos que sustentam um sistema de apoio à decisão para enfermeiros comerciais que é utilizado em mais de 40 hospitais na Bélgica. A partir de heurísticas de busca local foram realizadas escalas de curto prazo que incluem a atribuição de tarefas aos enfermeiros em um ambiente hospitalar. O modelo inclui níveis mínimos de preferência de cobertura, qualificações pré-definidas e tipos de turnos, vários contratos com restrições ajustáveis e outros recursos.

Já Mateus, Marques e Captivo (2017), construíram três algoritmos heurísticos de busca local, que selecionam pacientes de uma lista de espera para cirurgias a serem agendadas definindo a sala, o dia e o turno para cada cirurgia selecionada. Como resultado, obteve-se que as soluções obtidas pelos algoritmos são de muito boa qualidade e o tempo necessário para que se chegue ao resultado computacional normalmente é bem pequeno, mesmo quando se considera instâncias em que existem mais cirurgias na lista de espera.

Enquanto isso, Strandmark e Curtois (2020) propõem um método heurístico baseado na geração de colunas para realizar a alocação de enfermeiros. O método

realiza uma pesquisa incompleta que produz de maneira rápida boas soluções, mas que não fornecem limites inferiores válidos, ele é eficaz em grandes instâncias para as quais foram produzidas soluções mais conhecidas em instâncias de dados de referência, porém, várias inovações (solucionador rápido de programação linear de primeira ordem baseado no trabalho de Chambolle e Pock (2011)) foram necessárias para produzir soluções em tempos de computação aceitáveis. Além disso, todo o código fonte dos algoritmos apresentados foi disponibilizado on-line para reprodutibilidade dos resultados e para auxiliar outros pesquisadores.

Como proposta de solução para a Segunda Competição Internacional de Listas de Enfermeiras (INRC-II), foi apresentado no artigo um método baseado no problema de satisfação de restrições ponderadas (WCSP). Os autores propuseram uma heurística de busca tabu para o WCSP, a fim de que, dado um número de restrições, se minimize o peso total de todas as restrições não satisfeitas. O solucionador conseguiu encontrar soluções para todos os dados atrasados fornecidos pelos organizadores da competição. No entanto, não foi dada nenhuma informação sobre como avaliar a qualidade das soluções obtidas, então os autores só puderam testá-las contra outras soluções obtidas pelo mesmo solver, com valores de configuração (Santos *et al.*, 2015).

Além disso, o estudo de Castaño e Velasco (2019) teve como objetivo o escalonamento de estudantes de medicina ou estagiários para rodízios ao longo de um período de seis meses, de forma que todos passem por diferentes serviços durante vários períodos quinzenais. O trabalho propõe duas abordagens distintas para resolver o problema. A primeira, um modelo de programação matemática. A segunda abordagem é uma metaheurística baseada em uma abordagem de busca de vizinhança variável (VNS), adaptada para resolver o problema de forma eficiente, nesse caso, foi incorporado em um aplicativo de planilha para obtenção dos dados referentes à rotação dos discentes. Nesse projeto, destacou-se a alta qualidade dos cronogramas fornecidos em comparação com um software de otimização padrão.

Enquanto o trabalho de Lan *et al.* (2019), leva em consideração a demanda e os recursos disponíveis no hospital, a carga de trabalho dos médicos e da equipe médica, entre outras restrições, com o objetivo de minimizar a insatisfação dos médicos, os custos dos médicos e a frequência de trabalho do médico em várias clínicas. Para resolver esse problema, é proposto uma metaheurística híbrida com algoritmo SCA-VNS, que combina um algoritmo seno cosseno (SCA) e pesquisa de

VNS baseado no algoritmo húngaro iterado, que é usado para lidar com problemas médicos e atribuição pessoal.

Outro trabalho relacionado à abordagem VNS é o de Nasir e Dang (2018), que propôs dois métodos heurísticos de busca de vizinhança variável para resolver o problema de chegada e saída de pacientes juntamente com a seleção de novos pacientes e equipe de enfermagem. Para isso, foi construído um modelo integrado que faz, de maneira conjunta, a seleção dos pacientes, a contratação dos enfermeiros, a atribuição dos enfermeiros aos pacientes e as decisões de agendamento e roteamento em um problema de planejamento diário.

Além do mais, também com essa temática tem-se o projeto de Bilgin *et al.* (2010), que apresentaram um modelo de escala de enfermeiros, aberto a extensões com pequenas restrições leves verificadas em diversos hospitais, outros setores e países. Nesse caso, o algoritmo VNS apresenta vizinhanças definidas aptas a investigar as características do problema, como tipos de turnos compatíveis e habilidades secundárias.

O artigo proposto por Drezet e Billaut (2008) apresenta um problema de programação de projeto com parâmetros específicos, que consideram as habilidades dos funcionários, os requisitos legais e as habilidades. Para a resolução desta problemática, algoritmos gulosos são propostos para fornecer uma solução aproximada. Enquanto isso, no estudo proposto por Constantino *et al.* (2013), são consideradas as preferências de turno e outros requisitos, objetivando maximizar a satisfação geral das preferências dos enfermeiros e minimizar a violação de restrições. Os autores deste trabalho lidaram com o problema de agendamento de equipes de enfermagem, assim, eles construíram um algoritmo heurístico determinístico, denominado MAPA (algoritmo baseado em problemas de atribuição múltipla), a fim de gerar horários de trabalho para um conjunto de enfermeiros.

Outrossim, Acharyya e Datta (2019) tratam de uma questão de ajuste estável do Problema de Transferência de Pessoal na Gestão de Recursos Humanos. Percebeu-se que as abordagens determinísticas que eram utilizadas eram muito lentas em comparação com as abordagens heurísticas e metaheurísticas aleatórias. Então, para solucionar o problema, aplicou-se abordagens de busca local estocástica, na qual apresentou um desempenho geral satisfatório, sendo que entre as variantes aplicadas as heurísticas de SA, que apresentam estratégia gulosa juntamente com uma lista tabu, possuem um melhor desempenho que os outros

métodos aplicados. A nova formulação, as preferências do empregador são levadas em consideração, antes só apresentava as preferências dos empregados.

O estudo de You e Hsieh (2021), propõe uma abordagem inteligente híbrida baseada em um algoritmo genético (GA) para solucionar as questões pertinentes ao horário de serviço e o direcionamento da equipe médica para cada departamento clínico, considerando as habilidades do pessoal e as preferências vocacionais particulares. Nesse sentido, o artigo tem como objetivo desenvolver decisões de agendamento de plantão e permissão de férias para minimizar a soma dos custos de espera dos clientes, o custo de horas extras da equipe médica, o custo de não atender às necessidades de férias da equipe médica e o custo do apoio mútuo entre os departamentos. No entanto, como usar efetivamente as características de multi habilidade da equipe e como executar o controle de vocações não foram bem investigadas, percebendo-se a necessidade de mais pesquisas com o aprofundamento voltado à melhor utilização das competências do pessoal da saúde.

O estudo de Jatoi *et al.* objetiva a geração de uma população superior em tempo razoável, procurando uma melhor qualidade individual nessa designação. O método foi utilizado por meio do exame de três esquemas de imigração para aumento da eficácia do algoritmo, com experimentações mediante da comparação de abordagens de imigrantes com metaheurísticas canônicas GA, DE (Evolução Diferencial) e PSO em diferentes enfermarias para o problema da escalação de enfermeiros em hospitais públicos de Sindh, Paquistão. Nesse caso, os hospitais utilizam de alocação com sistema de listas de forma manual, esse agendamento é considerado uma tarefa demorada e uma abordagem desequilibrada de atribuição de funções dos enfermeiros. Tendo como resultado que os esquemas de imigrantes melhoram o desempenho do GA, DE, PSO convencional, com a capacidade da abordagem aleatória do imigrante de saltar do ótimo local devido à propriedade de gerar mais diversidade na população atual. Mas os testes mostraram que as abordagens imigrantes elitistas podem obter a solução ideal rapidamente, apresentando um melhor desempenho para realizar a alocação.

Beojone e Souza (2020) obtiveram como resultado do trabalho uma melhora no processo de agendamento de turnos usando modelos de filas não estacionárias para avaliar os escalonamentos e duas heurísticas para gerar o agendamento. A função de método de geração inicial de população teve uma melhoria, e também foi proposta uma heurística de busca local simples, para dar uma maior confiabilidade

para o algoritmo genético. A partir do aprimoramento de um algoritmo genético foi possível determinar quantos funcionários irão trabalhar em cada turno, de acordo com as restrições, com custos e probabilidade de atrasos adequados.

O objetivo do trabalho de Riise e Burke (2010) foi solucionar a problemática de designação de salas e datas para um conjunto de cirurgias eletivas. Neste projeto, foi elaborado um cronograma para cada cirurgia para evitar dupla marcação de procedimentos. O algoritmo emprega *Simple Relocate* e *Two-Exchange Neighbourhoods*, que são gerenciados por uma infraestrutura de busca local iterada.

Rocha, Oliveira e Carravilla (2014) geraram uma heurística construtiva para resolver o problema de escalonamento de pessoal proposta para uma unidade fabril de vidro, que foi codificada em VBA. A heurística produzida possui cálculos e algoritmos básicos, capaz de atribuir uma sequência obrigatória de turnos e folgas aos empregados envolvidos, proporcionando um equilíbrio da carga de trabalho, além de apresentar flexibilidade, possibilitando a utilização em problemas com características diferentes em outras indústrias, estimulando novas extensões de pesquisas.

A pesquisa realizada por Wong, Xu e Chin (2014) também usaram o VBA no processo de agendamento, a abordagem heurística do estudo gerou o agendamento de enfermeiros com base em Excel. A abordagem proposta é a heurística de duas etapas baseada em planilhas para o gerenciamento de problemas de enfermagem em um departamento de emergência local, levando em consideração que nesses ambientes as regras são mais rígidas por se tratar de um serviço dinâmico e intenso. Primeiro, um cronograma inicial é gerado por uma simples atribuição de turnos, o algoritmo, que satisfaz todas as restrições regulatórias. Na segunda etapa, um algoritmo de pesquisa sequencial local é usado para melhorar os cronogramas iniciais levando em consideração pequenas restrições (preferências do enfermeiro).

A programação linear inteira mista (MILP) é abordada por Nasir e Dang (2018) de forma mais flexível, tendo como foco o desenvolvimento de um sistema de serviços de cuidados de saúde em casa do ponto de vista da sustentabilidade econômica de longo prazo, bem como da eficiência operacional. O modelo MILP produzido possui uma dinâmica de chegada e saída de pacientes com a seleção de novos pacientes e equipe de enfermagem.

Lin (2015) projetou uma heurística adaptativa em um sistema de agendamento ambulatorial para a redistribuição de pacientes para os procedimentos com longo tempo de espera para o de menos, o sistema atende a uma variedade de grupos de pacientes com taxas de fluxo variáveis. O índice de impacto aplicado à heurística possui uma função multiobjetivo ponderada, para que seja possível identificar o próximo paciente para o tratamento quando a unidade estiver disponível. A formulação foi necessária para o fornecimento de limites inferiores e superiores, sendo que com resultados percebeu-se que a qualidade da solução da heurística adaptativa é melhor. Com a abordagem, apresentou melhorias no programa inicial, possibilitando uma identificação iterativa dos procedimentos com longos tempos de espera e realocando pacientes a blocos menos congestionados.

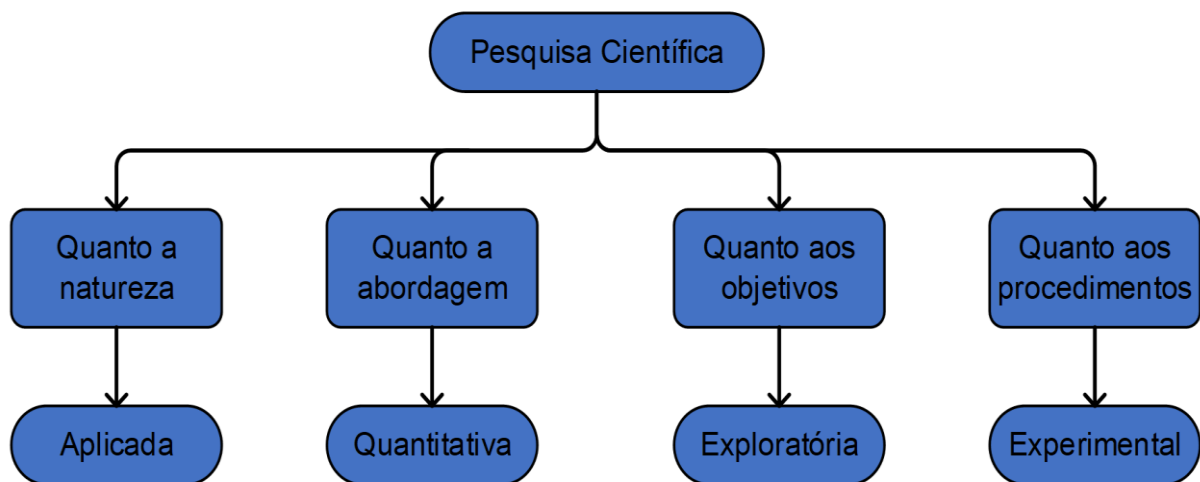
Já o artigo de Bilgin *et al.* (2011), aponta o desenvolvimento de uma abordagem híper heurística de alto nível para o problema de agendamento de admissão de pacientes e de escalonamento de enfermeiros, tendo como principal contribuição ser uma híper heurística geral, podendo tratar dois períodos de tempo bastante diferentes na área da saúde. A abordagem apresentada por Bourdais, Galinier e Pesant (2003) também buscou resolver os problemas de escalonamento de equipes médicas utilizando restrições gerais. A programação possui uma estrutura de busca heurística focada na modularidade, com restrições flexíveis e bem gerais que podem ser aplicadas a problemas de referência de diversos hospitais e tipos de funcionários.

4 METODOLOGIA

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Para Marconi e Lakatos (2003), o método científico pode ser definido como a maneira ou conjunto de regras básicas empregadas em uma investigação científica com o intuito de obter os resultados mais confiáveis, quando for possível. Com base nesse conceito, a pesquisa científica abordada foi classificada a partir de quatro parâmetros: quanto à sua natureza, quanto a seus objetivos, quanto à sua abordagem e quanto a seus procedimentos. A Figura 1, mostra o fluxograma com a estrutura do estudo de forma sistemática com foco nas classificações apresentadas.

Figura 1 - Fluxograma da caracterização da pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2023).

Esta pesquisa caracteriza-se quanto a sua natureza como aplicada. Andrade (2017) destaca que a pesquisa aplicada é motivada por razões de prática, tendo como objetivo atender as exigências da vida moderna. Pesquisas aplicadas podem contribuir para a ampliação do conhecimento científico e sugerir novas questões a serem investigadas (Gil, 2008).

Quanto à abordagem, este trabalho se caracteriza como quantitativo, que de acordo com Wainer (2007), filosoficamente, a pesquisa quantitativa baseia-se numa visão dita positivista onde as variáveis a serem observadas são consideradas objetivas, isto é, diferentes observadores obterão os mesmos resultados e observações distintas, não há desacordo do que é melhor e o que é pior para os

valores dessas variáveis objetivas, medições numéricas são consideradas mais ricas que descrições verbais, pois elas se adequam à manipulação estatística. Enquanto Porto (2011), explica que a pesquisa quantitativa é caracterizada pela investigação apoiada predominantemente em dados estatísticos e utiliza pesquisas anteriores e conhecimento teórico para escolha de variáveis.

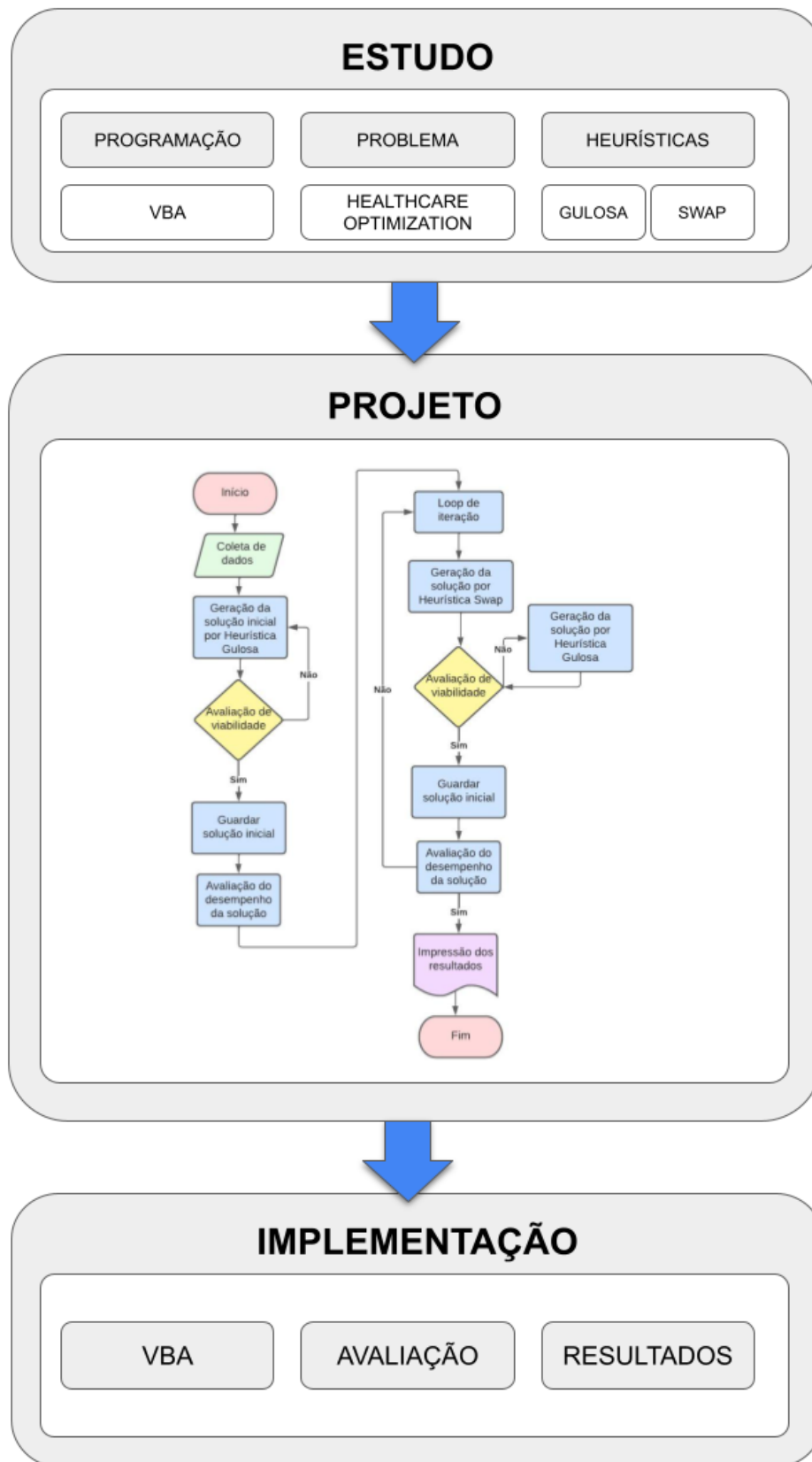
Ao analisar como este estudo se caracteriza quanto aos objetivos, nota-se que se trata de uma pesquisa exploratória. Gil (2008), destaca que este tipo de pesquisa visa proporcionar maior familiaridade com o problema, podendo envolver levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas experientes no problema pesquisado. As pesquisas exploratórias são úteis quando o tema em estudo foi pouco explorado. A pesquisa exploratória é desenvolvida no sentido de proporcionar uma visão geral acerca de determinado fato, procurando buscar “padrões, ideias ou hipóteses, em vez de testar ou confirmar uma hipótese” (Collis; Hussey, 2005, *apud* Munaretto; Corrêa; da Cunha, 2013).

Quanto aos procedimentos, este trabalho é definido como experimental, que de acordo com Gil (2008) consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. A pesquisa experimental pode ser desenvolvida em laboratório (onde o meio ambiente criado é artificial) ou no campo (onde são criadas as condições de manipulação dos sujeitos nas próprias organizações, comunidades ou grupos) (Silveira; Córdova, 2009).

4.2 ETAPAS DA PESQUISA

A elaboração deste trabalho foi estruturada em 3 fases com diferentes atividades sendo desenvolvidas em cada uma destas fases. A Figura 2, mostra como ficaram dispostas cada uma das atividades realizadas no decorrer de cada fase:

Figura 2 - Etapas do estudo.



Fonte: Autoria própria (2023).

A fase que deu início ao desenvolvimento desta pesquisa foi a de Estudo, que teve como atividade inicial a realização de estudos com intuito de aprofundar os conhecimentos sobre a linguagem de programação escolhida para realizar a implementação do problema, que foi a Linguagem VBA, ou *Visual Basic* como também é conhecida. Logo após a fase de Estudos prosseguiu sendo realizada a atividade de aprendizagem voltada para propiciar um melhor entendimento acerca do problema tratado por esta pesquisa, o *Healthcare Optimization*. Posteriormente, a Fase de Estudo foi concluída com a ampliação dos conhecimentos adquiridos, só que agora direcionados a métodos de otimização heurísticos e metaheurísticos, mais especificamente algoritmos que pudessem ser escolhidos para conceber o algoritmo proposto por esta pesquisa.

A segunda fase foi focada no desenvolvimento do algoritmo proposto, ou seja, no projeto, que se baseou em heurísticas gulosas e heurísticas de Busca Local, mais especificamente o *swap*, sendo extraídos as características e requisitos de cada um destes tipos de algoritmos, para adaptá-los ao problema aqui considerado. A fase de projeto é uma fase muito importante da pesquisa, por se tratar da elaboração da estratégia que será usada para resolução eficiente do problema em questão.

E por fim, a pesquisa foi concluída com a realização da implementação, que iniciou-se com aplicação do algoritmo proposto no problema, por meio do desenvolvimento do código na linguagem de programação VBA. O código elaborado é capaz de coletar as informações das instâncias usadas para experimentos, fazendo em seguida a aplicação do método proposto e posteriormente apresentação e registro dos resultados obtidos, para que possam ser usados em análises. Após o desenvolvimento do código, a fase de implementação seguiu com a realização de avaliações com o intuito de atestar o funcionamento correto do algoritmo e detectar se não existem erros de lógica na resolução do problema. Finalmente, a fase de implementação foi concluída a partir da realização dos experimentos computacionais e consolidação dos resultados obtidos, sendo realizadas posteriormente análises do desempenho do algoritmo proposto nas condições estabelecidas.

5 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A temática de *healthcare optimization* vem sendo abordada em diversas pesquisas atualmente, apresentando, assim, grande importância na resolução de cenários que procuram uma maior eficiência em serviços da saúde. A otimização no processo de gerenciamento de funcionários em ambientes hospitalares é um fator de extrema relevância por se tratar de serviços essenciais e que impactam diretamente nos recursos humanos e materiais envolvidos.

O escalonamento de médicos deve envolver um método de gestão de funcionários eficaz e eficiente para satisfazer as demandas do hospital ou da instituição médica, a partir do agendamento em horários que atendam às necessidades dos pacientes, economizando tempo e esforço da equipe médica (Chen *et al.*, 2020). O processo de alocação deve ser realizado analisando diversas questões, como a disponibilidade de recursos, tanto humanos quanto materiais, além das competências dos funcionários para aquele setor que cujo a demanda se originou.

Ao se discutir a gestão de recursos humanos de enfermagem em centros cirúrgicos, é necessário mencionar o dimensionamento de um método de previsão do capital humano em termos de quantidade e qualificação profissional (competências), levando em consideração as características da organização, do serviço de enfermagem e os pacientes, propiciando uma assistência adequada da demanda. Adequar o quadro de pessoal para atender as necessidades de assistência de enfermagem aos pacientes leva as organizações a alcançar níveis mais altos de qualidade da assistência e um cuidado seguro e humanizado (Pedro *et al.*, 2018).

Uma equipe médica é composta por diferentes profissionais com formações e experiências únicas, cada um possuindo competências obtidas com a sua vivência no ambiente hospitalar e acadêmico. Os centros cirúrgicos são compostos de diversas alas, cada uma com seu procedimento direcionado a um quadro específico, necessitando assim de profissionais com conhecimento para aquele serviço e suas peculiaridades. Diante disso, o problema abordado, realiza a avaliação das especialidades dos enfermeiros, atribuindo notas de 0 a 10 para um melhor nivelamento, que são os *scores* determinados aos funcionários diante do seu nível de especialidade para cada setor cirúrgico.

Nesse sentido, a abordagem tem o objetivo de realizar a maximização do score geral da equipe de acordo com a demanda, ou seja, a melhor alocação de funcionários de forma que a capacidade mínima por setor seja atendida e que as especialidades sejam maximizadas, obtendo maior nível de eficiência. As restrições aplicadas ao algoritmo fazem com que cada ala cirúrgica possua uma demanda específica, logo, ela obrigatoriamente precisa ser respeitada.

Com foco em uma demonstração mais assertiva, a seguir temos uma representação da problemática. Por meio de um exemplo simples, observa-se que em um hospital com 3 setores, setor 1 (demanda de 2 funcionários), setor 2 (demanda de 1 funcionário) e setor 3 (demanda de 1 funcionário). No Quadro 1, constam as notas referentes às competências dos profissionais por setor, estipuladas de forma aleatória. Com a análise da mesma, percebe-se que a atribuição do procedimento deve ser direcionada para o profissional com as melhores notas possíveis, procurando maximizar a soma das especialidades e alocar os funcionários mais adequados para a realização da cirurgia.

Quadro 1 - Exemplo Respondido.

Profissional 1	Profissional 2	Profissional 3	Profissional 4
2	6	5	8
7	4	6	5
5	3	9	0

Fonte: Autoria própria (2023).

O exemplo demonstra uma situação fictícia, mas em um ambiente real existe milhares de dados caracterizados por sua alta complexidade, com diversas variáveis e restrições envolvidas. Xiang *et al.* (2015) relataram em seu estudo a importância do desenvolvimento e da utilização de métodos fundamentados em otimização e inteligência artificial para o planejamento de equipes médicas em cirurgias, destacando o grande volume de variáveis e restrições envolvidas em problemas dessa classe. Nesse sentido, é notório que essa problemática necessita de métodos de otimização para realizar o gerenciamento de equipes em cirurgias eletivas.

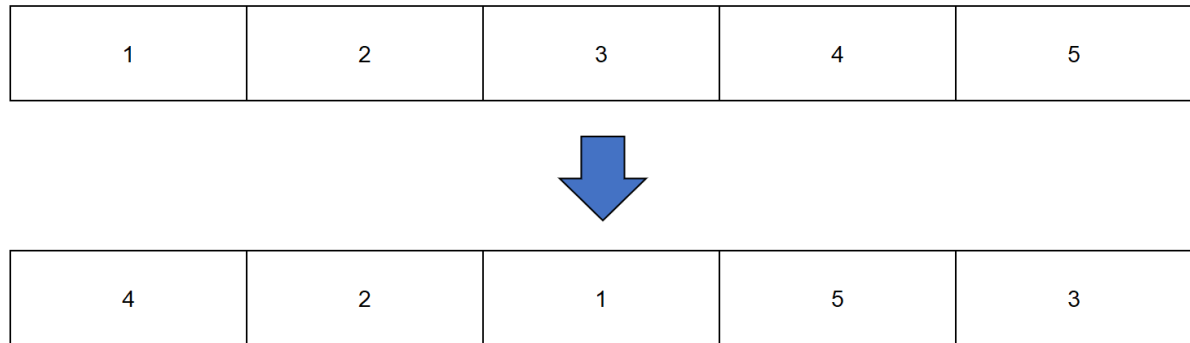
5.1 DESCRIÇÃO GERAL

O objetivo desta pesquisa é solucionar problemas de alocação e escalonamento de equipes de saúde em redes hospitalares, desenvolvendo uma estratégia de otimização que permita um melhor aproveitamento dos recursos existentes. A abordagem foi fundamentada em uma metaheurística de otimização, sendo dividida em duas etapas, a que utiliza a heurística gulosa e a heurística de busca local *swap*.

Nesse cenário, foram produzidos pseudocódigos que estão descritos nos próximos tópicos, que descrevem os passos realizados durante a construção do código proposto na pesquisa. A princípio é realizada a geração de uma solução inicial, em que é aplicado o procedimento de otimização procurando alcançar a solução ótima local, que respeite as restrições da problemática. Quando a primeira solução é encontrada são realizadas 10.000 iterações com o uso da heurística de busca local *swap*, que possibilita uma solução melhorada a partir de novas soluções que preservem uma parte da anterior. Quando uma solução ótima é encontrada e após ocorrerem mais de 2.000 iterações sem obtenção de melhoria nos resultados, realiza-se a técnica de perturbação, que procura explorar outras regiões do local de soluções, viabilizando a obtenção de melhores resultados. Os pseudocódigos apresentam as matrizes necessárias para a criação do algoritmo, onde a MS que é a matriz solução e MST a matriz teste.

5.1.1 Solução inicial

Nesta etapa a solução inicial é gerada por intermédio de uma heurística gulosa, que por meio de trocas de posições gera soluções pseudoaleatórias (Figura 3). A heurística gulosa realiza trocas por toda a solução, trocando posições aleatoriamente e sem preservar nenhuma posição da solução anterior. Devido a isso ela é menos eficiente que as heurísticas de vizinhança de busca local, que possuem mais inteligência imbuída.

Figura 3 - Representação da heurística gulosa.

Fonte: Autoria própria (2023).

No código da pesquisa, a princípio, tem-se a coleta dos dados na matriz das especialidades (ME), que contém os *scores* dos profissionais de saúde para cada setor, a coleta das demandas é feita na matriz demanda por setores (MDS) e a matriz solução (MS), inicia vazia. De modo iterativo gera-se uma solução inicial totalmente aleatória que será alocada na MS. Se a solução inicial não atender as demandas setoriais serão geradas novas soluções até que a solução inicial respeite as restrições e assim possa ser alocada na MS. O pseudocódigo com as etapas para a construção da solução inicial é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Pseudocódigo de Construção da Solução Inicial.

Procedimento – Construção da Solução Inicial

- 1 Gerar matriz com a alocação dos funcionários nos setores;
- 2 Verificar se a solução gerada respeita as demandas setoriais:
- 3 **Se** respeitar a solução gerada será guardada;
Caso contrário, novas soluções devem ser geradas até que a
- 4 demanda seja atingida;
- 5 Retornar a matriz solução gerada.

fim - Construção da Solução Inicial

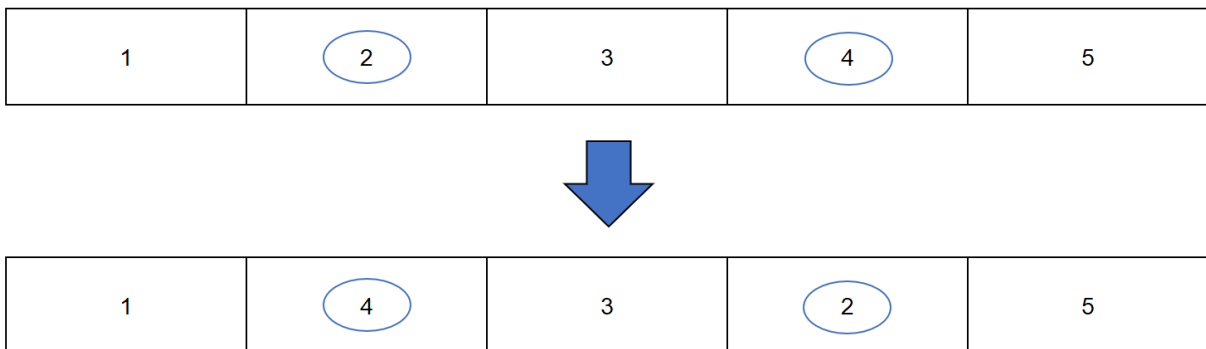
Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.2 Vizinhança de busca local *swap*

A vizinhança de busca local é um método de iteração mais eficiente que a heurística gulosa, uma vez que ela procura novas soluções vizinhas preservando uma parte da solução, pretendendo melhorar a solução anterior. As novas soluções são obtidas a partir de movimentações na estrutura da solução atual, ou seja, são selecionados vizinhos da solução mais recente.

No código da pesquisa, na segunda etapa, foi realizada a vizinhança de busca local *swap*. O *swap* é feito por meio da seleção de duas posições aleatórias e das trocas de suas posições, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Representação da heurística de vizinhança de busca local *swap*.



Fonte: Autoria própria (2023).

Com vista a preservar a solução mais atual, o *swap* foi feito em um terço da quantidade de funcionários que foram selecionados aleatoriamente. Quando a nova solução é melhor que a atual ela é substituída, caso não, ela é ignorada. Além disso, é analisado se as restrições de demandas por setores estão sendo atendidas. Esse procedimento pode ser visto no pseudocódigo representado na Figura 6.

Figura 6 - Pseudocódigo da vizinhança de busca local *swap*.

Procedimento - Vizinhança de Busca Local *Swap*

- 1 **Para** um terço da quantidade de funcionários será feito o *swap*:
- 2 Realizar *swap* de dois setores aleatórios;
- 3 Guardar a solução gerada na *matriz_swap*;
- 4 **fim-para**;
- 5 Verificar se a solução da *matriz_swap* respeita as demandas setoriais:
 Se a solução respeitar a demanda setorial, a *matriz_swap* não terá
 6 modificações;
 Caso contrário, novas soluções devem ser geradas até que a demanda
 7 seja atingida;
- 8 Retornar a matriz solução gerada.

fim - Vizinhança de Busca Local *Swap*

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.3 Perturbação

A perturbação é a técnica que altera a solução atual completamente por meio da modificação de posições aleatórias. Esse procedimento é utilizado com intuito de sair de ótimos locais e explorar diferentes regiões do espaço de soluções possíveis a fim de obter melhores resultados.

Na presente pesquisa, a perturbação ocorre quando o algoritmo encontra uma solução ótima e por 2000 iterações essa solução não é alterada. Para a sua realização foi utilizada a heurística *swap*, buscando trocar aleatoriamente os setores de forma mais eficiente. Assim, são selecionados aleatoriamente dois setores, após a seleção é realizada a troca das posições para cada um dos funcionários, fazendo uma modificação geral em toda a solução. Esse processo é demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Pseudocódigo de Construção da Perturbação.

Procedimento	– Perturbação
---------------------	---------------

<ol style="list-style-type: none"> 1 melhor será feita a perturbação: 2 Realizar <i>swap</i> de dois setores aleatórios; 3 Guardar a solução gerada na matriz_perturbação; 4 fim-para; 5 Verificar se a solução da matriz_perturbação respeita as demandas setoriais: <ul style="list-style-type: none"> Se a solução respeitar a demanda setorial, a matriz_perturbação não terá 6 modificações; Caso contrário, novas soluções devem ser geradas até que a demanda seja 7 atingida; 8 Retornar a matriz solução gerada. 	
---	--

fim	– Perturbação
------------	---------------

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.4 Mecanismo de avaliação

O mecanismo de avaliação aborda os fatores que foram levados em consideração para a aceitação da abordagem desenvolvida de acordo com situações práticas encontradas nos mais diversos sistemas de saúde. O algoritmo criado é capaz de representar e fornecer uma estratégia de otimização com melhor aproveitamento dos recursos disponíveis durante um período de extrema necessidade e apresentando resultados de forma eficiente, inovadora e em tempo hábil, o mesmo foi testado em dados reais de uma rede hospitalar.

Conforme foi explicado na descrição no problema, há duas restrições fortes que estão presentes, (i) todos os setores devem ter suas demandas atingidas, ou seja, a quantidade de funcionários alocados em cada setor deve ser igual ou maior do que a demanda mínima que ele possui, essa restrição é tratada por meio de um mecanismo conforme o pseudocódigo da Figura 8.

Figura 8 - Pseudocódigo da Verificação da demanda.

Procedimento – Mecanismo de Viabilização- Verificação Demanda	
<hr/>	
1	Gerar matriz_demanda, que possui a demanda setorial;
2	Gerar matriz_alocação, que possui a alocação setorial da solução gerada;
3	Verificar se a matriz_alocação < matriz_demanda:
	Se for, novas soluções devem ser geradas até que a demanda seja
4	atingida;
5	Caso contrário , a matriz não terá modificações;
6	Retornar a matriz solução gerada.
<hr/>	
fim - Mecanismo de Viabilização- Verificação Demanda	
<hr/>	

Fonte: Autoria própria (2023).

A outra restrição é referente às competências dos funcionários que devem possuir *score* maior que 0, não podendo alocar funcionário que tem nota zero no setor, por essas pontuações estarem diretamente relacionadas à competência e experiência dos profissionais naquele local, ou seja, não é viável a alocação de profissionais com nota zero para as alas de cirurgias, procedimento que apresenta altos riscos à saúde dos pacientes.

6 DESENVOLVIMENTO

6.1 INSTÂNCIAS ADOTADAS PARA OS TESTES

Para a realização dos testes foram utilizados dados coletados de dois hospitais reais, que serão designados como Hospital A e Hospital B, a fim de manter o sigilo dos dados disponibilizados pelas instituições. Para ambos os hospitais, os profissionais atuantes como enfermeiros atribuíram scores para cada um dos setores disponíveis para a realização das suas atividades, essas notas levam em consideração as suas competências profissionais e os seus interesses pessoais.

O Hospital B é um hospital multissetorial e as alas das cirurgias dividem-se em dois grandes blocos, as cirurgias eletivas – podem ser adiadas por 24h ou mais – e as cirurgias emergenciais – atendimento imediato. Os blocos serão designados, respectivamente, como Hospital B_1 e Hospital B_2.

O Quadro 2 apresenta as quantidades de funcionários e os setores de cada um dos hospitais.

Quadro 2 - Quadro de funcionários e setores dos hospitais

Hospitais	Quantidade de funcionários	Quantidade de setores
Hospital A	40	6
Hospital B_1	30	4
Hospital B_2	50	8

Fonte: Autoria própria (2023).

Cada hospital possui as suas demandas mínimas por setores, que estão apresentadas nos Quadros 3, 4 e 5.

Quadro 3 - Demandas setoriais hospital A.

Hospitais	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5	Setor 6
Hospital A	5	5	6	11	3	8

Fonte: Autoria própria (2023).

Quadro 4 - Demandas setoriais hospital B_1.

Hospitais	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4
Hospital B_1	5	8	8	7

Fonte: Autoria própria (2023).

Quadro 5 - Demandas setoriais hospital B_2

Hospitais	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5	Setor 6	Setor 7	Setor 8
Hospital B_2	3	11	5	4	8	5	4	7

Fonte: Autoria própria (2023).

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise da eficiência das heurísticas criadas foram realizados 10 testes para cada um dos hospitais, seguindo o fundamento da repetitividade, isto é, realização de sucessivas medições efetuadas sob as mesmas condições. Para minimizar o erro ligado ao tempo de reação humana, foi utilizada a ferramenta do VBA, que faz a medição exata do tempo de execução de cada um dos testes. Os testes foram realizados em um notebook com processador Intel(R) Core (TM) i7-8565U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz com 8 GB de memória RAM e o sistema operacional Windows 11.

A partir das 10 execuções foram coletados os maiores e os menores resultados dos *scores* encontrados e dos tempos de execução para cada uma das bases. Além dos valores máximos e mínimos, foram realizadas as médias dos tempos e dos *scores* obtidos.

Para cada execução foram utilizadas 1000 iterações, com o intuito de padronizar e viabilizar a solução do problema. Na base do Hospital B_2, por ter mais funcionários e mais setores, há um aumento de forma significativa do tempo computacional de resolução. Os resultados encontrados estão descritos no Quadro 6.

Quadro 6 - Resultados computacionais para as instâncias tratadas.

Instância	Resultado mínimo	Resultado máximo	Resultado médio	Tempo* mínimo	Tempo* máximo	Tempo* médio
Hospital 1	264	273	268,5	00:20:02	00:39:00	00:29:31
Hospital 2_A	200	208	204	00:00:11	00:00:38	00:00:25
Hospital 2_B	298	313	305,5	04:11:21	07:10:34	05:40:58
*O tempo está apresentado em horas: minutos: segundos.						

Fonte: Autoria própria (2023).

Procurando aprofundar mais nos melhores resultados de cada hospital, foi realizado o levantamento de onde cada profissional seria alocado, avaliando setores com os maiores e menores *scores* dos funcionários. Nesse sentido, o Quadro 7

apresenta as porcentagens referentes aos colaboradores que foram alocados no setor de maior e de menor score.

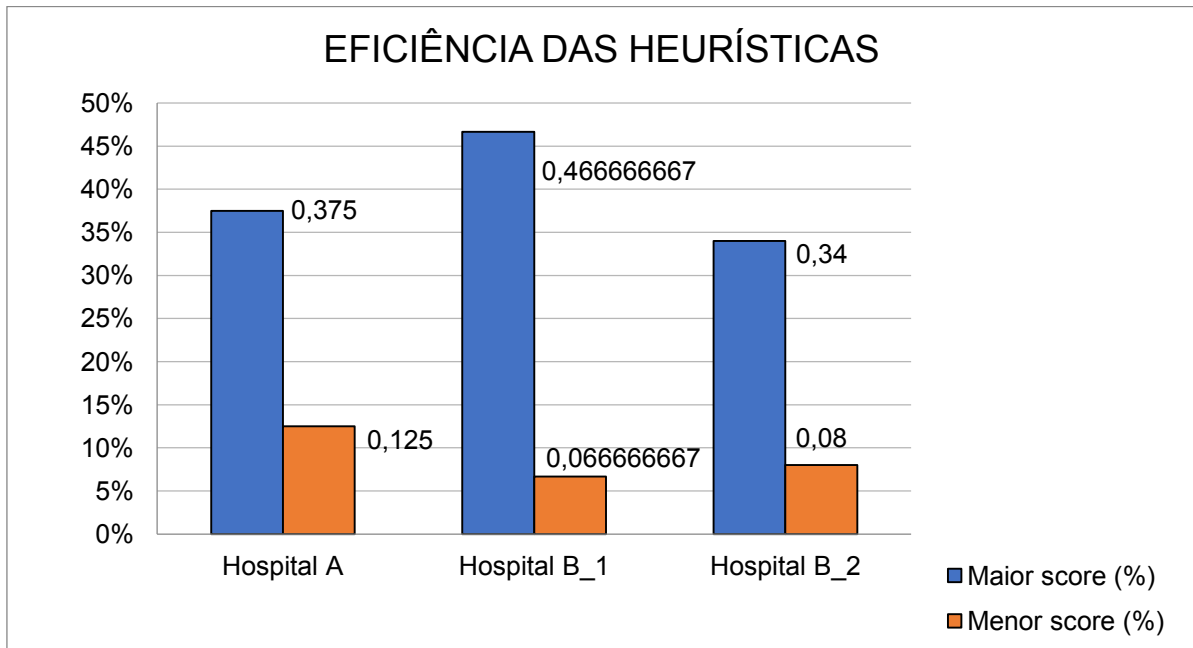
Quadro 7 - Análise da eficiência das heurísticas na alocação dos setores com base no score.

Hospitais	Maior score (%)	Menor score (%)
Hospital A	38%	13%
Hospital B_1	47%	7%
Hospital B_2	34%	8%

Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dos dados anteriores foi feito um gráfico para melhor visualização da eficiência dos scores encontrados nos melhores resultados de cada hospital, representado na Figura 9.

Figura 9 - Comparativo dos maiores e menores scores dos hospitais.



Fonte: Autoria própria (2023).

Os dados possibilitam observar a eficiência do algoritmo, em que se torna visível que mais de 30% dos funcionários são alocados nos setores que possuem maior *score*, tendo o Hospital B_1 uma porcentagem bastante expressiva de 47%. Além disso, menos de 15% foram alocados nos setores de menor *score*. A partir disso tem-se que as heurísticas trazem resultados bastante positivos, uma vez que mais de 85% dos funcionários encontram-se alocados nos setores que possuem um grau de eficiência entre o *score* médio e máximo.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do que foi apresentado pode-se concluir que o objetivo principal da pesquisa, que é o desenvolvimento de abordagens heurísticas capazes de realizar o escalonamento de equipes de enfermagem em cirurgias eletivas, foi atingido. Com a obtenção das soluções foi possível a realização do planejamento efetivo de equipes de enfermagem de dois hospitais distintos, o Hospital A e o Hospital B.

Por meio do algoritmo, delineamentos que antes eram feitos de modo manual podem ser feitos de modo automatizado, otimizando a eficiência das soluções e gerando aumento da produtividade. Outro ponto positivo é o tempo de execução do código, uma vez que em tempos reduzidos as heurísticas fornecem soluções satisfatórias, que atendem as necessidades dos hospitais. Acrescenta-se que com o aumento do número de iterações pode-se aumentar o tempo de execução e o grau de eficiência das soluções.

Além disso, a automatização dessas atividades pode ser utilizada como apoio para a tomada de decisão da gestão. Isso se torna viável porque os processos de alocação de funcionários possuem alta complexidade, visto que muitas variáveis são inerentes à solução e existem milhares de combinações possíveis que geram diferentes soluções com graus distintos de efetividade, o que torna o processo manual extremamente trabalhoso e com um baixo grau de eficiência.

Outro benefício é que os tomadores de decisão podem destinar as suas ações para atividades mais estratégicas, uma vez que o processo de alocação que antes era feito manualmente, o algoritmo fará de modo totalmente automatizado. Assim, proporcionando uma melhor eficiência na gestão de recursos humanos.

Ademais, as soluções levaram em consideração as preferências e competências profissionais, proporcionando um melhor bem-estar para os funcionários, por serem alocados para os setores que possuem mais afinidade, além de promover um trabalho mais seguro, com equilíbrio de carga horaria e otimização dos períodos de atendimento das cirurgias. Isso se deve ao fato de que, como durante o preenchimento dos *scores* para os setores, os profissionais designaram notas de 1 a 10 considerando as suas preferências, aptidões e especializações, e como o algoritmo em mais de 85% dos casos alocou os funcionários em setores que possuem um *score* entre médio e alto, isso permite aos funcionários estarem em setores que possuem maior aptidão e assim realizar as suas atividades de modo

mais satisfatório.

Evidencia-se também que a aplicação do sistema não se restringe apenas a alocação de equipes de enfermagem em cirurgias. O sistema pode ser aplicado a situações que possuem ordenamentos similares aos propostos, como para a alocação de equipes médicas em cirurgias eletivas e equipes médicas e de enfermagem, cargos gerais, não se restringindo apenas aos setores cirúrgicos.

Como a solução é totalmente inovadora, não foi possível ter acesso a dados a nível de comparação de eficiência. Logo, como sugestão tem-se a construção de diferentes métodos heurísticos com outras linguagens de programação que visem comparar e melhorar o nível de eficiência das alocações, estes métodos podem ser aplicados tanto para as equipes médicas como as de enfermagem e nos âmbitos cirúrgicos e gerais.

Dessa maneira, pode-se concluir que a pesquisa possui grande relevância, tendo em vista as suas contribuições para a gestão eficiente de funcionários nos sistemas de saúde, que necessita de melhorias, tanto no Brasil como no mundo. Esses benefícios se tornam mais valiosos diante da sua possibilidade de reaplicação em outros setores já citados, com vista a melhoria contínua dos processos.

REFERÊNCIAS

- ABDALKAREEM, Zahraa A. et al. Healthcare scheduling in optimization context: a review. **Health and Technology**, v. 11, p. 445-469, 2021.
- ACHARYYA, S.; DATTA, A. K. Matching formulation of the Staff Transfer Problem: meta-heuristic approaches. **Opsearch**, v. 57, p. 629-668, 2020.
- AKBARZADEH, Babak et al. A diving heuristic for planning and scheduling surgical cases in the operating room department with nurse re-rostering. **Journal of scheduling**, v. 23, p. 265-288, 2020.
- ANDRADE, Maria Margarida de. Introdução à Metodologia do Trabalho Científico. 10. **São Paulo: Atlas**, 2017.
- AWADALLAH, M. A. Bolaji ALa, Al-Betar MA. **A hybrid artificial bee colony for a nurse rostering problem. Appl Soft Comput**, v. 35, p. 726-739, 2015.
- BEOJONE, Caio Vitor; SOUZA, Regiane Máximo de. Improving the shift-scheduling problem using non-stationary queueing models with local heuristic and genetic algorithm. **Pesquisa Operacional**, v. 40, 2020.
- BILGIN, Burak et al. Local search neighbourhoods for dealing with a novel nurse rostering model. **Annals of Operations Research**, v. 194, p. 33-57, 2012.
- BILGIN, Burak et al. One hyper-heuristic approach to two timetabling problems in health care. **Journal of Heuristics**, v. 18, p. 401-434, 2012.
- BOURDAIS, Stéphane; GALINIER, Philippe; PESANT, Gilles. HIBISCUS: A constraint programming application to staff scheduling in health care. In: **Principles and Practice of Constraint Programming—CP 2003: 9th International Conference, CP 2003, Kinsale, Ireland, September 29–October 3, 2003. Proceedings 9**. Springer Berlin Heidelberg, 2003. p. 153-167.
- BURKE, Edmund K. et al. A hybrid heuristic ordering and variable neighbourhood search for the nurse rostering problem. **European journal of operational research**, v. 188, n. 2, p. 330-341, 2008.
- CASTAÑO, Fabián; VELASCO, Nubia. Exact and heuristic approaches for the automated design of medical trainees rotation schedules. **Omega**, v. 97, p. 102107, 2020.
- CHEN, Ping-Shun et al. Applying heuristic algorithms to solve inter-hospital hierarchical allocation and scheduling problems of medical staff. **International Journal of computational intelligence systems**, v. 13, n. 1, p. 318-331, 2020.
- CHEN, Ping-Shun et al. Developing three-phase modified bat algorithms to solve medical staff scheduling problems while considering minimal violations of preferences and mean workload. **Technology and Health Care**, v. 30, n. 3, p. 519-540, 2022.
- CHEN, Ping-Shun; ZENG, Zhi-Yang. Developing two heuristic algorithms with

metaheuristic algorithms to improve solutions of optimization problems with soft and hard constraints: An application to nurse rostering problems. **Applied Soft Computing**, v. 93, p. 106336, 2020.

CHEN, Ping-Shun; ZENG, Zhi-Yang. Developing two heuristic algorithms with metaheuristic algorithms to improve solutions of optimization problems with soft and hard constraints: An application to nurse rostering problems. **Applied Soft Computing**, v. 93, p. 106336, 2020.

CHIARAMONTE, Michael; CASWELL, David. Rerostering of nurses with intelligent agents and iterated local search. **IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 213-222, 2016.

CONSTANTINO, Ademir Aparecido et al. A heuristic algorithm based on multi-assignment procedures for nurse scheduling. **Annals of Operations Research**, v. 218, p. 165-183, 2014.

DE CAUSMAECKER, Patrick; BERGHE, Greet Vanden. Novel meta-heuristic approaches to nurse rostering problems in Belgian hospitals. **Handbook of Scheduling Algorithms, Models, and Performance Analysis**, p. 1-27, 2004.

DREZET, L.-E.; BILLAUT, J.-C. A project scheduling problem with labour constraints and time-dependent activities requirements. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p. 217-225, 2008.

FEI, Hongying; MESKENS, Nadine; CHU, Chengbin. A planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy. **Computers & Industrial Engineering**, v. 58, n. 2, p. 221-230, 2010.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GÜR, Şeyda; EREN, Tamer. Application of operational research techniques in operating room scheduling problems: literature overview. **Journal of Healthcare Engineering**, v. 2018, 2018.

HADDADI, Salim. Three-phase method for nurse rostering. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, v. 14, n. 3, p. 193-205, 2019.

JATOI, W. M. *et al.* Meta-heuristic algorithms with immigrant techniques for nurse duty roster in public hospitals in Sindh, Pakistan. **International Journal of Computational Intelligence in Control**, v. 13, n. 2, 2021.

KLETZANDER, Lucas; MUSLIU, Nysret. Solving the general employee scheduling problem. **Computers & Operations Research**, v. 113, p. 104794, 2020.

LAN, Shaowen et al. A hybrid SCA–VNS meta-heuristic based on Iterated Hungarian algorithm for physicians and medical staff scheduling problem in outpatient department of large hospitals with multiple branches. **Applied Soft Computing**, v. 85, p. 105813, 2019.

- LEGRAIN, Antoine; BOUARAB, Hocine; LAHRICHI, Nadia. The nurse scheduling problem in real-life. **Journal of medical systems**, v. 39, p. 1-11, 2015.
- LIN, Carrie Ka Yuk. An adaptive scheduling heuristic with memory for the block appointment system of an outpatient specialty clinic. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 24, p. 7488-7516, 2015.
- LIU, Zhenyuan et al. Simulated annealing for a multi-level nurse rostering problem in hemodialysis service. **Applied Soft Computing**, v. 64, p. 148-160, 2018.
- M'HALLAH, Rym; ALKHABBAZ, Amina. Scheduling of nurses: a case study of a Kuwaiti health care unit. **Operations Research for Health Care**, v. 2, n. 1-2, p. 1-19, 2013.
- MANDAL, Ashis Kumar. Development of an Interactive Tool based on Combining Graph Heuristic with Local Search for Examination Timetable Problem. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 11, n. 3, 2020.
- MARCONI, M.; LAKATOS, E. Fundamentos de metodologia científica. Editora Atlas S. **São Paulo/Brasil**, 2003.
- MATEUS, Catarina; MARQUES, Inês; CAPTIVO, M. Eugénia. Local search heuristics for a surgical case assignment problem. **Operations Research for Health Care**, v. 17, p. 71-81, 2018.
- MICHAEL, Chiamonte; JEFFERY, Cochran; DAVID, Caswell. Nurse preference rostering using agents and iterated local search. **Annals of Operations Research**, v. 226, p. 443-461, 2015.
- MOHD RASIP, Norhayati et al. Enhancement of nurse scheduling steps using particle swarm optimization. In: **Advanced Computer and Communication Engineering Technology: Proceedings of the 1st International Conference on Communication and Computer Engineering**. Springer International Publishing, 2015. p. 459-469.
- MUNARETTO, Lorimar Francisco; CORRÊA, Hamilton Luiz; DA CUNHA, Júlio Araújo Carneiro. Um estudo sobre as características do método Delphi e de grupo focal, como técnicas na obtenção de dados em pesquisas exploratórias. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, v. 6, n. 1, p. 9-24, 2013.
- NASIR, Jamal Abdul; DANG, Chuangyin. Solving a more flexible home health care scheduling and routing problem with joint patient and nursing staff selection. **Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 0148, 2018.
- ÖZDER, Emir Hüseyin; ÖZCAN, Evrencan; EREN, Tamer. A systematic literature review for personnel scheduling problems. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 19, n. 06, p. 1695-1735, 2020.
- PEDRO, Danielli Rafaeli Candido et al. Dimensionamento do pessoal de enfermagem em centro cirúrgico de um hospital universitário. **Journal of Nursing and Health**, v. 8, n. 1, 2018.

- PORTO, Geciane Silveira. Pesquisa quantitativa. **São Paulo: USP**, 2011.
- RAIS, Abdur; VIANA, Ana. Operations research in healthcare: a survey. **International transactions in operational research**, v. 18, n. 1, p. 1-31, 2011.
- RIISE, Atle; BURKE, Edmund K. Local search for the surgery admission planning problem. **Journal of Heuristics**, v. 17, p. 389-414, 2011.
- ROCHA, Marta; OLIVEIRA, José Fernando; CARRAVILLA, Maria Antónia. A constructive heuristic for staff scheduling in the glass industry. **Annals of Operations Research**, v. 217, p. 463-478, 2014.
- SANTOS, Diogo et al. A weighted constraint optimization approach to the nurse scheduling problem. In: **2015 IEEE 18th International Conference on Computational Science and Engineering**. IEEE, 2015. p. 233-239.
- SILVEIRA, Denise Tolfo; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. A pesquisa científica. **Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 33-44**, 2009.
- SOLOS, Ioannis P.; TASSOPOULOS, Ioannis X.; BELIGIANNIS, Grigorios N. A generic two-phase stochastic variable neighborhood approach for effectively solving the nurse rostering problem. **Algorithms**, v. 6, n. 2, p. 278-308, 2013.
- STRANDMARK, Petter; QU, Yi; CURTOIS, Timothy. First-order linear programming in a column generation-based heuristic approach to the nurse rostering problem. **Computers & Operations Research**, v. 120, p. 104945, 2020.
- WAINER, Jacques et al. Métodos de pesquisa quantitativa e qualitativa para a Ciência da Computação. **Atualização em informática**, v. 1, n. 221-262, p. 32-33, 2007.
- WONG, Tse-Chiu; XU, Mai; CHIN, Kwai-Sang. A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: A case study in an emergency department. **Computers & Operations Research**, v. 51, p. 99-110, 2014.
- YOU, Peng-Sheng; HSIEH, Yi-Chih. A heuristic algorithm for medical staff's scheduling problems with multiskills and vacation control. **Science Progress**, v. 104, n. 3_suppl, p. 00368504211050301, 2021.
- ZHONG, Xiang; ZHANG, Jingyu; ZHANG, Xuanqi. A two-stage heuristic algorithm for the nurse scheduling problem with fairness objective on weekend workload under different shift designs. **IIE transactions on healthcare systems engineering**, v. 7, n. 4, p. 224-235, 2017.