

## O problema de roteamento e escalonamento de profissionais de saúde

### The home healthcare routing and scheduling problem

DOI:10.34117/bjdv8n11-257

Recebimento dos originais: 24/10/2022

Aceitação para publicação: 23/11/2022

#### **Julia Madalena Miranda Campos**

Programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação  
Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Endereço: Campus Universitário – Lagoa Nova, Natal – RN  
E-mail: julia.campos31@gmail.com

#### **Elizabeth Ferreira Gouvêa Goldberg**

Departamento de Informática e Matemática Aplicada  
Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Endereço: Campus Universitário – Lagoa Nova, Natal – RN  
E-mail: elizabeth.goldberg@ufrn.br

#### **RESUMO**

Problema de Roteamento e Escalonamento de Profissionais de Saúde consiste em determinar a melhor rota para profissionais de saúde para atendimento domiciliar. Existem diversas variantes deste problema que diferem nas restrições e funções objetivo. Este artigo apresenta uma revisão da literatura, com o objetivo de identificar os problemas de roteamento utilizados pelos autores, os diferentes tipos de função objetivo, e as técnicas de solução utilizadas.

**Palavras-chave:** problema de roteamento e escalonamento de profissionais de saúde, revisão de literatura.

#### **ABSTRACT**

The Home Healthcare Routing and Scheduling Problem consists in determining the best route for healthcare professionals to home care. There are several variants of this problem that differ in constraints and objective functions. This article presents a literature review, with the objective of identifying the routing problems, the different types of objective functions, and the solution techniques used.

**Keywords:** home healthcare routing scheduling problem, literature review.

## **1 INTRODUÇÃO**

O Serviço de Atendimento Domiciliar (SAD) abrange programas de prevenção, de reabilitação, tratamento de doenças em domicílio, garantindo maior conforto para os pacientes, facilidade de suporte familiar, reduzindo o risco de infecções hospitalares e a ocupação de leitos. Porém, o SAD apresenta alguns desafios, como atender todos os

pacientes agendados em um período pré estabelecido, gerir o horário de trabalho dos cuidadores e condutores dos veículos que transportam cuidadores, e definir as rotas dos veículos.

De acordo com o censo da Fundação o Instituto de Pesquisas Econômicas (Fipe) e o Núcleo Nacional de Empresas de Serviço de Atenção Domiciliar (Nead), em 2020 foram registradas 830 empresas de Home Care no Brasil e o setor fatura em média R\$10,6 bilhões anualmente. Em 2020, quando a pandemia se espalhou pelo mundo, o SAD cresceu 15% e se espera que o setor continue em expansão. De acordo com o Nead, mais de 290 mil brasileiros foram submetidos a algum tipo de atendimento médico em casa em 2019. Se não houvesse o atendimento residencial, seria necessário a abertura de 21 mil novos leitos no país, o que equivale a todos os leitos públicos e privados do Estado de Pernambuco, na época do levantamento. O novo coronavírus impulsionou ainda mais os cuidados médicos domiciliares [Phelcom 2020]. São cerca de 106 mil profissionais em atividade, entre empregados próprios e terceirizados, dos quais cerca de 51% são técnicos ou auxiliares de enfermagem e enfermeiros e 12% são cuidadores de idosos.

Devido aos desafios que surgem com o aumento da necessidade de atendimentos domiciliares, o SAD tem despertado o interesse de diversos pesquisadores. Uma vez que o gerenciamento das visitas aos pacientes muitas vezes é feito de forma manual pelos profissionais que trabalham nos hospitais. Desse modo, para aumentar a abrangência do serviço utilizando recursos já existentes, o problema relacionado ao gerenciamento de atendimento de pacientes em domicílio foi chamado pelos pesquisadores de Problema de Roteamento e Escalonamento de Profissionais de Saúde (PREPS). No PREPS, um conjunto de profissionais de saúde deve atender um conjunto de pacientes em suas residências. Cada profissional de saúde possui uma qualificação específica e deve atender apenas pacientes que necessitam da qualificação adequada.

Os profissionais de saúde têm uma carga horária pré-definida e devem fazer as visitas de modo que preencham o máximo da carga horária diária de trabalho, sem ultrapassar o tempo máximo. Os veículos que transportam os profissionais de saúde fazem parte de uma frota limitada e possuem capacidade fixa. Além do motorista, cada veículo pode transportar um ou mais profissionais de saúde. Os veículos (e profissionais) partem de um local específico, chamado depósito, no início do dia de trabalho e retornam para o depósito ao final do período de trabalho.

Cada paciente é representado por um local de visita. Para cada visita, é

determinada uma janela de tempo para o início do serviço. Cada paciente possui um conjunto de necessidades, que devem ser atendidas por um profissional qualificado. Entre os objetivos encontrados no PREPS, destacam-se a minimização da distância percorrida pelos profissionais de saúde, do tempo de viagem, atrasos nas visitas e sincronização de visitas com mais de um profissional de saúde que atende ao mesmo paciente.

[Fikar e Hirsch 2017] e [Cissé et al. 2017] apresentaram uma revisão dos trabalhos publicados até 2015, focando nos parâmetros mais comuns em problemas de roteamento e agendamento. Di Mascolo et al. (2021) revisaram a literatura do PREPS até o ano de 2019 com foco na identificação de restrições e objetivos específicos para problemas de roteamento e escalonamento.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão dos diferentes problemas de roteamento, funções objetivo e técnicas de solução utilizadas, com as instâncias disponibilizadas pelos autores. Levando em consideração que as restrições e a modelagem do PREPS não se tornam obsoletas, fornecemos uma análise bibliográfica dos trabalhos focados nas funções objetivo publicadas entre 1995 a 2022. A análise dos modelos tem como objetivo principal encontrar lacunas de pesquisa que possam ser preenchidas posteriormente.

Na seção 2 são apresentados os parâmetros utilizados na revisão de literatura. A seção 3 apresenta o Problema de Roteamento e Escalonamento de Profissionais de Saúde. A seção 4 apresenta os problemas de roteamento relacionados. A seção 5 apresenta as bases de dados de instâncias disponíveis para pesquisa. A seção 6 apresenta os trabalhos divididos de acordo com a(s) função(ões) objetivo utilizada(s) nos modelos. A seção 7 apresenta as considerações finais.

## 2 PARÂMETROS UTILIZADOS NA REVISÃO DE LITERATURA

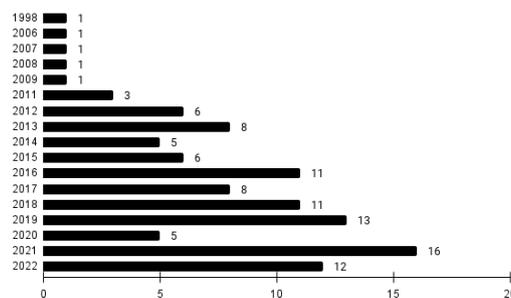
Para buscar os artigos apresentados neste trabalho, primeiro selecionou-se palavras-chave. Em seguida, criou-se *strings* de busca para adicionar nas bases de busca. Também foi feita uma seleção de quais bases de busca seriam utilizadas para fazer a pesquisa.

Para o início da busca foram selecionadas as seguintes palavras-chave: "*home health care*", "*home care*" e "*routing*". As palavras-chave selecionadas anteriormente, foram organizadas nas seguintes *strings* de busca: ("*home health care*" OR "*home care*") AND "*routing problem*", ("*home health care*" OR "*home care*") AND "*vehicle routing*

problem”.

A seleção das bases foi realizada levando em consideração a popularidade, sendo elas: *Science Direct, Springer, Scopus, IEEE Xplore, ACM Digital Library e Google Scholar*. Até o final do período de coleta do material de estudos foram descritos 110 artigos sobre PREPS publicados em periódicos entre os anos de 1995 e 2022, sendo notado um aumento dos artigos nos últimos anos como apresentado na Figura 1. O aumento de artigos sobre atendimento domiciliar entre 2021 e 2022, aconteceu devido ao avanço da tecnologia dos veículos elétricos em alguns países, evidenciando algumas dificuldades como o carregamento desses veículos no trajeto e por conta da pandemia da covid-19, que aumentou a necessidade de internações domiciliares e cuidados com o distanciamento social no momento do atendimento.

Figura 1: Artigos por ano



### 3 PROBLEMA DE ROTEAMENTO E ESCALONAMENTO DE PROFISSIONAIS DE SAÚDE

No Problema de Roteamento e Escalonamento de Profissionais de Saúde (PREPS) é considerado um conjunto de profissionais de saúde de tamanho conhecido e com diferentes habilidades e um conjunto de pacientes de tamanho também conhecido que necessitam de determinados serviços médicos em domicílio. Cada profissional parte de determinado local em veículo de capacidade limitada e fazem uma rota na qual realizam uma sequência de atendimentos. A rota seguida pelos profissionais de saúde possui uma estimativa de tempo de deslocamento entre dois locais de visita.

Cada visita é caracterizada por uma janela de tempo que determina o intervalo de chegada do profissional à sua residência. Se o profissional chegar antes do início dessa janela ele deve esperar e caso chegue depois, é considerado atraso. Uma janela de tempo para o atendimento, representando o limite superior e inferior para duração de cada visita. Uma janela de tempo de trabalho, que representa a estimativa do tempo mínimo e máximo

de expediente para cada profissional de saúde. Ao fim da janela de tempo de trabalho ou de ter realizado todas as visitas, os profissionais retornam ao depósito.

A seguinte definição formal foi descrita por [Tanoumand and Unluyurt 2021]. Seja  $V = \{1, 2, \dots, N\}$  um conjunto de vértices representando pacientes que necessitam de atendimento médico domiciliar. Sejam os vértices  $V_0 = V \cup \{0\}$ ,  $V_{n+1} = V \cup \{N + 1\}$ , e  $V_{0, n+1} = V \cup \{0, N + 1\}$  cujo 0 e  $N+1$  são depósitos, representando os locais onde cada rota começa e termina, respectivamente. Seja  $G = (V_{0, n+1}; A)$  um grafo completo e direcionado cujo  $A = \{(i, j) \mid i, j \in V_{0, n+1}, i \neq j\}$  é um conjunto de arcos.

Cada arco  $(i, j)$  possui uma associação de distância e tempo de viagem representada por  $d_{ij}$  e  $t_{ij}$  respectivamente. Seja  $S = \{1, 2, 3\}$  um conjunto que contém os tipos de veículos e  $R = \{1, 2\}$  um conjunto representando os tipos de recurso, tal que 1 representa os médicos e 2 representa profissionais de apoio, tais como enfermeiras, cuidadores de idosos, etc. Ainda seja  $V_i$  um conjunto de tipos de paciente e  $h_r$  a quantidade de funcionários disponíveis de cada tipo. Para cada paciente é definido uma janela de tempo  $[e_i, l_i]$  para a chegada desses profissionais, uma estimativa de tempo para a duração do serviço  $s_i$ , e uma janela de tempo dos profissionais de saúde  $[0, T]$  que significa que todas as visitas devem ser concluídas antes da hora de trabalho máxima permitida de pessoal.

Devido a natureza do problema, no PREPS são consideradas restrições, que podem ser divididas entre rígidas e flexíveis, possui e diversas funções objetivo que podem ser apresentadas individualmente ou em conjunto. No problema são encontradas as seguintes restrições rígidas: cada paciente pode ser visitado apenas uma vez por dia pelo mesmo profissional, cada paciente deve ser atendido pelo profissional com habilidade correta para a sua necessidade, todos os pacientes previstos no escalonamento devem ser atendidos. E as seguintes restrições flexíveis: são considerados tipos de veículos diferentes a depender do tipo de profissional de saúde, a preferência dos pacientes, preferência das enfermeiras.

Foram encontradas as seguintes funções objetivo: minimização de distância, maximização de satisfação, equilíbrio de carga horária, minimização do tamanho da equipe e maximização da quantidade de pacientes. Para encontrar a menor distância percorrida, os autores determinam uma rota de custo mínimo, onde os profissionais de saúde devem partir de um ou vários depósitos, passar por todas as residências e retornar ao depósito, dentro da janela de tempo da carga horária dos profissionais de saúde, em

alguns casos os autores definem este objetivo como minimização de tempo de deslocamento.

A busca pelo equilíbrio de carga horária garante que durante a formação da escala sejam evitadas horas extras e a ociosidade do profissional durante o tempo de trabalho. Para isso, é calculada a diferença entre a carga horária máxima e mínima de trabalho de cada profissional de saúde. Para minimizar o tamanho da equipe, é dado um conjunto de profissionais, com mesmas habilidades, o objetivo é minimizar a quantidade total de profissionais necessários para a realização de todos os atendimentos durante o planejamento. Para maximizar a quantidade de pacientes atendidos, é considerado um conjunto de todos os pacientes que poderão ser atendidos em um dia, a frequência que determinado serviço é prestado e a quantidade de semanas que o paciente necessitará do atendimento. Durante o período de escalonamento, os atendimentos devem ser alocados de modo a cobrir a maior quantidade possível de pacientes diferentes.

#### **4 PROBLEMAS DE ROTEAMENTO**

O (PREPS) é associado com diversas variantes do Problema de Roteamento de Veículos (PRV). Nestes problemas, considera-se um grafo  $G = (V, A)$  onde o conjunto de vértices,  $V$ , é formado por localidades que devem ser visitadas por um veículo e o conjunto de arestas  $A$  denota a possibilidade de ir de uma localidade para outra dentro de uma janela de tempo  $[E, L]$  conhecida. São associados custos aos elementos de  $A$ . De forma geral, o objetivo é visitar um subconjunto das localidades, passando em cada uma delas apenas uma vez, somando o menor custo possível nas arestas do trajeto sem violar as restrições de janela de tempo. Dentre as variantes abordadas no PREPS estão os problemas de roteamento de veículos com janelas de tempo e os problemas de coleta e entrega.

O PRV consiste em um conjunto de vértices interligados por arestas que devem ser percorridas por uma frota de veículos que partem de um ou mais depósitos. Em várias aplicações, um cliente é associado a cada vértice do grafo. Cada veículo pode ser associado a um ou mais prestadores de serviço. Cada veículo deve visitar cada vértice atribuído a ele apenas uma vez e retornar ao depósito de origem ao fim das visitas [Laporte 1992]. De acordo com [Ralphs et al. 2003] o Problema de Roteamento de Veículos Capacitado é uma variante do (PRV), no qual uma frota de veículos de entrega, com capacidade uniforme deve atender a uma demanda conhecida de clientes e possuem

um único depósito.

O Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo (PRVJT) envolve uma frota de veículos, que partem de um depósito para atender a um conjunto de clientes, em diferentes locais com demandas conhecidas, dentro de uma janela de tempo específica e depois retorna ao depósito. O objetivo desse problema é encontrar rotas de custo mínimo sem violar as restrições de capacidade e de janela de tempo [Tan et al. 2001]. Um caso particular do PRVJT, é o Problema do Caixeiro Viajante com Janela de Tempo (PCVJT). Nesse problema um caixeiro viajante deve fazer um caminho de custo mínimo visitando cada vértice apenas uma vez, prestando determinado serviço. Esse serviço deve iniciar dentro de uma janela de tempo que define o limite superior e o limite inferior para o início do serviço. Se o veículo chegar ao local muito cedo, ele deve esperar [Dumas et al. 1995].

No caso da existência de múltiplos locais de partida e chegada, o (PRVJT) recebe o nome de Problema Múltiplo de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo (MPRVJT). Esse problema é usado para determinar uma rota de custo mínimo para uma frota de veículos que fazem entregas para clientes, dentro de uma janela de tempo, contando com diversos depósitos em diferentes locais [Bae e Moon, 2016].

Quando existe a necessidade da sincronização das visitas, o problema é chamado de problema de roteamento de veículos com janelas de tempo e restrições de sincronização (PRVJTSyn). Nesse problema, cada vértice é associado com uma janela de tempo que representa o intervalo de tempo disponível para receber o serviço. Caso o veículo chegue muito cedo, ele deve aguardar a abertura da janela de tempo, enquanto não é permitido chegar muito tarde. Além disso, cada vértice pode ser visitado por mais de um veículo. Visitas feitas ao mesmo vértice por mais de um veículo devem ser sincronizadas [Afifi et al 2013].

No Problema de Coleta e Entrega (PDP), produtos são coletados em determinado local e entregues em outro. Uma janela de tempo pode ser adicionada em cada vértice de origem e destino. Nesse problema, podem ser consideradas duas funções objetivas: O número de veículos necessários para satisfazer os requisitos e a distância total percorrida [Angelelli e Mansini, 2002].

## **5 BASES DE INSTÂNCIAS**

Uma particularidade das pesquisas relacionadas ao PREPS é a elaboração de trabalhos junto a hospitais e clínicas particulares, fazendo com que os dados analisados

por alguns pesquisadores sejam compostos por pacientes do estabelecimento. Por isso, nem sempre as bases de dados utilizadas são disponibilizadas pelos autores. Já outros autores criam suas bases de dados ou adaptam a partir de outras bases já conhecidas. Ainda encontramos uma biblioteca de instâncias disponíveis por diversos autores, publicada por Cristian Fikar no seguinte endereço: <https://christianfikar.com/2017/10/29/home-health-care-routing-scheduling-benchmark-instances/>. Este capítulo apresenta a relação feita, até o término da escrita deste trabalho, entre os autores que possuem instâncias disponíveis para acesso e onde obtiveram ou disponibilizaram essas instâncias, como apresentado na tabela a seguir.

<b>Autor</b>	<b>Base de dados utilizada</b>
[Elbenani et al. 2008] [Liu et al. 2012], [Liu et al. 2013], [Liu et al. 2014], [Decerle et al. 2017b], [Shi et al. 2019], [Luo et al. 2020], [Li et al. 2021], [Yang et al. 2021], [Han et al. 2017]	[Solomon 1985]
[En-nahli et al. 2015]	[Dumas et al, 1995]
[Issaoui et al. 2015]	[Trautsamwieser and Hirsch 2011]
[Issaoui et al. 2016]	[Aiane et al. 2015] [Dohn et al. 2008]
[Rasmussen et al. 2012] e [Decerle et al. 2019]	[Bredström, D., Rönnqvist, M. 2007]
[En-nahli et al. 2016], [Decerle et al. 2017a], [Decerle et al. 2018b]	[Bredström e Rönnqvist, 2008]
[Guericke and Suhl 2017]	[Trautsamwieser and Hirsch 2014] [Cappanera and Scutellà 2013, 2014]
[Khodabandeh et al. 2021]	[Mankowska et al. 2013]
[Erdem and çağrı Koç 2019]	[Hiermann et al. 2015]
[Liu et al. 2020]	[Cordeau et al., 2001]
[Gaspero e Urli 2014]	<a href="https://bitbucket.org/tunnuz/homecare-instance-generator/src/master/">https://bitbucket.org/tunnuz/homecare-instance-generator/src/master/</a>

[Braekers et al. 2016]	<a href="http://alpha.uhasselt.be/kris.braekers/">http://alpha.uhasselt.be/kris.braekers/</a>
[Grenouilleau et al. 2019]	<a href="https://doi.org/10.17632/cbgt59hnhk.1">https://doi.org/10.17632/cbgt59hnhk.1</a>
[Cinar et al. 2021]	<a href="https://doi.org/10.17632/j545x729m6.1">https://doi.org/10.17632/j545x729m6.1</a>
[Nikzad et al. 2021]	<a href="https://github.com/bashirimahdi/SDDARP-for-HHC">https://github.com/bashirimahdi/SDDARP-for-HHC</a>

## 6 CLASSIFICAÇÃO DOS TRABALHOS DE ACORDO COM AS FUNÇÕES OBJETIVO

Nesta seção são apresentados os trabalhos de acordo com suas funções objetivos, descrevendo qual abordagem foi utilizada pelos autores para solucionar o PREPS.

### 6.1 MINIMIZAÇÃO DE DISTÂNCIAS OU TEMPO DE DESLOCAMENTO

Em estudo de caso [Akjiratkarl et al. 2007] apresentaram uma abordagem do PREPS para o de uma técnica colaborativa baseada em *Particle Swarm Optimization*. Na abordagem, uma partícula foi definida como um ponto multidimensional no espaço, representando a solução inicial. A metodologia foi testada com 120 instâncias reais. No modelo de Programação Linear Inteira (PLI), desenvolvido por [Kergosien et al. 2009] foi testado com três tipos de instâncias sintéticas com 1, 2 e 3 habilidades e com 10, 20, 30 e 40 serviços. Para cada tipo de instância, os autores geraram 200 instâncias. A duração dos cuidados pertence ao intervalo [10 minutos, 1 hora]. A duração das janelas de tempo é entre meia hora e três horas.

Já [Jemai et al. 2013], propuseram uma meta-heurística baseada em Busca Tabu. Para os experimentos computacionais, foram criados três conjuntos de instâncias: cada conjunto contém 10 instâncias, com no máximo 10 profissionais de saúde e a quantidade de visitas variando entre 330 e 600. Foi proposto por [Gayraud et al. 2013], um modelo matemático, baseado em PLI e como principal contribuição, os autores utilizaram dois conceitos: o grau de competência dos profissionais de saúde e o nível de dependência de cada paciente. Para a realização dos experimentos as instâncias foram divididas em dois conjuntos de dados.

No estudo de caso realizado no Hospital Cruz Vermelha na Áustria, [Rest and Hirsch 2015] propuseram um algoritmo baseado em Busca Tabu. Os experimentos computacionais têm 202 tarefas, 46 enfermeiros, retirados do hospital. Foi proposto por

[Aiane et al. 2015] um modelo de PLI, em seus experimentos, os autores utilizaram instâncias retiradas de uma empresa de Home Care na França. Com base nessas instâncias, os autores concluíram que seu modelo é eficiente para resolver instâncias reais.

Para determinar as rotas e tipos de profissionais de saúde que devem ser utilizados para atender cada paciente e minimizar a distância percorrida, [Tozlu et al. 2016] apresentou um modelo de PLI e uma heurística Busca em Vizinhança. Em sua abordagem, os autores dividiram a equipe em dois grupos, um grupo de enfermeiros e um grupo de cuidadores. [Tozlu et al. 2016] separaram os pacientes em três grupos: pacientes que precisavam de enfermeiros, pacientes que precisavam de cuidadores e pacientes que precisavam de enfermeiros e cuidadores.

[Shi et al. 2017] desenvolveram uma heurística híbrida baseada em algoritmos genéticos com simulação de métodos estocásticos. Os experimentos desenvolvidos foram realizados com base nas instâncias de Solomon com 25, 50 e 100 profissionais de saúde com 200, 400 e 1000 enfermeiros. No ano seguinte, [Shi et al. 2018] propuseram um modelo de programação estocástica com recurso. Em sua proposta, primeiro, o modelo é reduzido para se tornar determinístico, e são implementadas algumas abordagens, Algoritmo Genético Híbrido, Recozimento Simulado, Bat algorithm e Firefly Algorithm [Jati et al. 2011] para resolver o modelo determinístico.

Foi proposto por [Frifita et al. 2017] uma meta heurística baseada em Busca em Vizinhança. Os experimentos foram gerados aleatoriamente, variando entre 20 e 80 pacientes, 4 a 16 profissionais de saúde e 2 a 8 serviços. Para preencher a lacuna da literatura entre artigos que tratam de cenários determinísticos e trabalhos que abordam incertezas na Atenção Domiciliar, [Cappanera et al. 2018] propuseram um modelo de PLI. Seu artigo foi definido como uma abordagem robusta, sem restrições de cardinalidade.

[Fathollahi-Fard et al. 2018] desenvolveram uma solução de PLI, com o objetivo de minimizar a emissão de poluentes a partir da minimização da distância percorrida. Em seu modelo, cada profissional de saúde é responsável pelo meio de transporte em que visitará os pacientes. Assim, o modelo considera diversos tipos de meios de transporte e diversos depósitos. Os experimentos foram realizados a partir de 12 instâncias. Com por 2 a 20 enfermeiros, 2 a 8 veículos e 10 a 200 pacientes. Em cada instância, além da matriz de distância percorrida, também foi adicionada uma matriz com os níveis de  $CO_2$  por distância. [Martinez et al. 2018] desenvolveram um algoritmo híbrido, combinando PLI

e o algoritmo guloso. Cada serviço dura entre 15 minutos e 2 horas. Os pacientes podem ser atendidos entre 6h e 21h. Os testes computacionais foram realizados com 23 instâncias. Tanto que variam entre 7 e 35 profissionais de saúde, entre 20 e 200 pacientes.

[Fathollahi-Fard et al. 2020] propuseram uma nova meta heurística, uma metodologia de otimização bi-objetiva para modelar um problema de agendamento e roteamento de saúde domiciliar multi-período e multidepósito em um ambiente difuso. Com relação a um conjunto de parâmetros incertos, como o tempo de viagem e serviços, bem como a satisfação dos pacientes, também é utilizada uma abordagem difusa denominada método de Jimenez. Os autores desenvolveram uma nova versão modificada multiobjetivo de SEO usando uma estratégia de memória adaptativa. Finalmente, uma discussão abrangente é fornecida comparando os algoritmos baseados em métricas multiobjetivos e análises de sensibilidade. Para examinar o modelo por diferentes algoritmos de solução, algumas instâncias de outros artigos são levados em consideração. As doze instâncias referentes ao pequeno (2 a 6 laboratórios e farmácias, 2 a 6 cuidadores, 2 a 3 veículos, 10 a 65 pacientes e 2 a 8 períodos), médio (8 a 10 laboratórios e farmácias, 8 a 10 cuidadores, 3 a 5 veículos, 80 a 100 pacientes e 14 a 28 períodos) e grande (12 a 18 laboratórios e farmácias, 12 a 20 cuidadores, 6 a 8 veículos, 120 a 200 pacientes e 32 a 42 períodos).

[Gomes and Ramos 2019] formularam um modelo baseado em PLI, destacando a fidelidade entre cuidadores e pacientes a cada semana, um esquema de não fidelidade entre semanas e a possibilidade de marcar o plano de visitas existente quando os pacientes saem do sistema e novos devem ser selecionados.

Um modelo matemático baseado em PLI foi proposto por [Moussavi et al. 2019], utilizando a decomposição de fórmulas. As contribuições de seu trabalho incluem a consideração de fatores humanos, como o tempo de trabalho diário e semanal. Para realizar os testes computacionais, foram utilizadas instâncias com 2 a 14 dias, 10 a 30 pacientes e 4 a 10 enfermeiros. Obtendo 90% de melhoria quando comparado aos algoritmos anteriores. Levando em conta restrições como multi-compromisso, hierarquia na demanda de atividades, preferências individuais, tempo de espera, tempo de trabalho. [Zhang et al. 2019] propuseram um modelo combinando PLI e o processo de decisão de Markov.

Na França, [Liu et al. 2021] observaram três restrições práticas no Home Health Care Problem. (1): alguns pacientes necessitam dos serviços que deveriam ser realizados

por, pelo menos, dois cuidadores simultaneamente (visitas sincronizadas); (2): os cuidadores devem fazer pausas para almoço quando estiverem trabalhando durante o período de almoço (pausas para almoço); (3) os cuidadores podem sair de suas casas ou da empresa HHC (modos flexíveis de saída dos cuidadores). Os autores apresentaram as seguintes contribuições: um novo PREPS com consideração das restrições da vida real, chamado PREPSsynLB, um modelo matemático de três índices é construído para o problema; quatro meta-heurísticas híbridas são desenvolvidas para enfrentar o problema; sensibilidades de tais parâmetros: a escala de visitas sincronizadas, a largura das janelas de tempo, quebra de regulamentos e estratégias de partida são analisados. Os resultados numéricos obtidos com 25 instâncias aleatórias, adaptadas de um conjunto de instâncias, bem como as informações estatísticas, computadas pelo teste de Friedman, mostram que a busca de vizinhança variável geral genética híbrida apresenta o melhor desempenho entre quatro algoritmos. Trabalhando com a utilização de veículos elétricos [Bahri et al. 2021] desenvolveu um modelo baseado no método fuzzy, utilizando aproximação de pareto. Em seu modelo os veículos possuem uma bateria com capacidade limitada, e além do depósito e das residências dos pacientes, quando a bateria está com uma capacidade reduzida, este passa por estações de recarga, no qual ficarão por determinado tempo, até que a carga seja completada. Só então continua seu percurso.

Foi desenvolvido por [Fathollahi-Fard et al. 2022] um modelo de programação em dois níveis como um jogo Stackelberg estático entre enfermeiros e pacientes no âmbito do HHCS. Estudo de caso real, e algumas análises de sensibilidade são feitas. Os autores ressaltam a utilização de meta-heurísticas capazes relatadas na literatura e também híbridas. Para validar a aplicação de meta-heurísticas em pequenos tamanhos, é utilizado um procedimento de solução combinando um método heurístico e exato. Por fim, são feitas análises comparativas do algoritmo, sondando o modelo usando um estudo de caso real, e algumas análises de sensibilidade são feitas.

## 6.2 EQUILÍBRIO DE CARGA HORÁRIA

Foi proposto por [Cheng and Rich 1998] um algoritmo baseado em Programação Linear. Os experimentos foram realizados com instâncias geradas contendo 2 profissionais com tempo de serviço parcial, 2 profissionais com tempo de serviço integral e com uma quantidade de pacientes variando entre 10 e 22.

Enquanto [Trabelsi et al. 2012], propuseram modelos baseados em Programação

Linear tratando do problema de decidir quais pacientes devem ser atribuídos a cada enfermeiro e quando executar o serviço durante o horário de planejamento, para satisfazer as restrições de janela de tempo para cada paciente. O modelo decide quais pacientes devem ser visitados por enfermeiro e quando realizar o atendimento durante o planejamento diário. Os experimentos computacionais foram realizados levando em consideração o período entre 1 segundo e 23 minutos, por exemplo com 2, 3 e 4 enfermeiros e até 15 pacientes.

Em seu estudo de caso, [Cattafi et al. 2012] apresentaram um modelo baseado em Programação Lógica por Restrições no hospital especializado em atendimento domiciliar na Itália. Como estratégia de busca, os autores utilizaram uma busca genérica, nessa estratégia é uma busca em profundidade na qual a próxima variável a ser atribuída é selecionada com a menor heurística de domínio. Em seus experimentos foram envolvidos um total de 15 profissionais de saúde, com carga horária de até 7 horas e 12 minutos e subdivididas entre 458 pacientes. Na Alemanha, [Nickel et al. 2012] propuseram uma meta heurística para automatizar o planejamento de visitas semanais de profissionais de saúde do sistema de atendimento domiciliar. Os problemas foram solucionados usando diferentes metaheurísticas e combinados com métodos de Programação Lógica por Restrições.

[Lee et al. 2013] propuseram uma meta heurística baseada em Programação Dinâmica, para os experimentos computacionais, os autores investigaram 371 comunidades de aposentados, localizados na área central da Pensilvânia. Foram escolhidas 15 comunidades, cujo tempo de viagem entre elas é de 1 hora. Em cada comunidade foram geradas instâncias aleatórias, com janelas de tempo uniformemente distribuídas. A média de trabalho, tempo dos cuidadores é de cerca de 343 minutos, e o desvio médio da data de vencimento é de 2,5 minutos.

[Masmoudi and Mellouli 2014] propuseram modelos baseados em PLI. Em seu modelo os autores utilizam cuidadores e fixos pacientes. Além disso, em cada um onde cada visita é garantida por recursos do tipo 1 (cuidadores) e diz respeito a um recurso do tipo 2 (pacientes). Considerando o tempo de transferência dos enfermeiros entre 10 e 30 minutos. A jornada de trabalho foi calculada a partir da soma da duração das visitas e do tempo de deslocamento. Cada paciente recebe de 1 a 3 visitas por dia. Após testes computacionais, foi observado que a dificuldade do problema é diretamente proporcional ao número de enfermeiros e atendimentos. Os autores encontraram soluções ótimas em

instâncias com 5 e 10 enfermeiros e 3 e 5 visitas. Enquanto as instâncias com 15 enfermeiros e 7 atendimentos não foram resolvidas pelo modelo.

[Trautsamwieser and Hirsch 2014] foram os primeiros a apresentar uma formulação de modelo matemático e meta-heurística baseada em Busca em Vizinhança para PREPS e introduzir uma abordagem Branch-Price-and-Cut. Os autores dividiram os profissionais de saúde em níveis de qualificação: o nível 1 são os profissionais responsáveis por limpar e dar apoio aos pacientes, os de nível 2 e 3 são responsáveis por cuidados médicos. Os testes computacionais foram realizados tendo em conta o estudo de caso realizado no Hospital da Cruz Vermelha na Áustria.

[Nguyen and Montemanni 2016] propuseram uma meta heurística, baseada em Algoritmos Genéticos. Os experimentos foram conduzidos a partir de dois conjuntos de dados reais, obtidos de uma empresa de atendimento domiciliar em Lugano, na Suíça. Os dois conjuntos de dados possuem 190 pacientes, que podem requisitar 760 serviços, e são atendidos por 15 profissionais de saúde. Já [Xiao et al. 2018] propuseram um modelo de PLI com o objetivo de equilibrar a carga horária de trabalho. Os experimentos foram realizados com 12 instâncias aleatórias, contendo entre 5 e 23 visitas, e entre 3 e 15 enfermeiras. O modelo foi solucionado utilizando o solver Gurobi.

[Lin et al. 2018] propuseram dois modelos baseados em Busca Harmônica com esquemas genéticos e de saturação cuja representação das soluções projetadas determina a lista de enfermeiros e roteirização de veículos. O primeiro modelo visava minimizar custos com horas extras e roteirização de veículos, e o segundo adiciona restrições de imprevisibilidade, como cancelamentos e atrasos. Eles apontaram que a Busca Harmônica demonstrou um melhor desempenho que as meta-heurísticas convencionais. Para os experimentos computacionais, os autores separaram as instâncias em dois grupos. O primeiro contém pacientes que residem na zona rural, e o segundo os pacientes que residem na zona urbana. Estar na zona rural: 53 pacientes, 287 tarefas, entre 2 e 5 enfermeiros. Na área urbana: 93 pacientes, 361 tarefas, entre 2 e 5 enfermeiros.

Em seu modelo os autores utilizaram [Bogataj et al. 2021] decidiram o número de cuidadores e o agendamento usando um algoritmo de balanceamento de montagem não linear na forma de balanceamento de linha de montagem. Como contribuição, o algoritmo foi combinado com o Problema do Caixeiro Viajante e planejamento de investimentos em rede, fornecendo uma nova ferramenta escrita na linguagem de programação R para tomada de decisão, avaliando o valor presente líquido dos serviços e combinando-o com

os custos de investimento para manter uma sociedade sustentável. Foi descrito por [Erdem and Çağrı Koç 2022] um modelo de PLI e uma heurística de busca em vizinhança que integra heurística de construção para gerar solução inicial e procedimento de busca local com base na descendência de vizinhança variável.

### 6.3 MINIMIZAÇÃO DO TAMANHO DA EQUIPE

[Allaoua et al. 2013] desenvolveram soluções baseadas em PLI, considerada a jornada diária de trabalho dos enfermeiros na equipe. Para solucionar o problema, primeiro solucionaram o problema de escalonamento e depois solucionaram o problema de roteamento. Os autores testaram os modelos com 190 instâncias propostas por [Kergosien et al. 2009]. Na França, [Zhang et al. 2021], propuseram um Modelo de PLI e o solucionador CPLEX adotando 10 instâncias reais em um instituto de Atenção à Saúde Domiciliar, com limite de tempo de execução definido em 4000 segundos para cada execução.

Foi proposto por [Bidhandi et al. 2019] uma metaheurística baseada em *Simulated Annealing*, aproveitando heurísticas preexistentes para calcular a probabilidade de bloqueio para um determinado plano de capacidade. Os autores aplicaram o modelo a uma instituição de saúde local, que possui uma rede de seis serviços/emergências, cuidados prolongados, moradia assistida, atenção domiciliar, reabilitação e tratamento de doenças crônicas. O conjunto de dados cujos resultados incluem 156.876 pacientes de cuidados domiciliários.

### 6.4 MAXIMIZAR O NÚMERO DE PACIENTES

Para organizar o planejamento semanal dos profissionais de saúde, [Demirbilek et al. 2019] propuseram um modelo heurístico, baseado em algoritmo guloso, testando com instâncias contendo 2 a 48 enfermeiras e 3 a 100 pacientes. Já [Martin et al. 2020] propuseram um modelo baseado em Colônias de Formigas. Nos experimentos, os autores usaram uma instância real para a qual os resultados estão disponíveis para comparação, com 10.709 clientes e 22.982 tarefas.

[Nasir e Kuo 2020] desenvolveram um modelo de PLI e um Algoritmo Genético para desenvolver um novo e eficaz modelo matemático como metodologia de solução para apoiar as decisões de prestação de serviços de saúde. A formulação do modelo e a HGA proposta examinaram uma instância da vida real para demonstrar sua praticidade e

instâncias de teste geradas aleatoriamente para avaliar a escalabilidade da abordagem proposta. As Instâncias variam entre 10 e 132 visitas solicitadas, ainda possuem entre 5 e 60 pacientes e um máximo de 12 cuidadores.

[Shahnejat-Bushehri et al. 2019] propuseram um modelo meta-heurístico, baseado em *Simulated Annealing* e Busca Tabu. O planejamento proposto leva em consideração as restrições de precedência e sincronização de tempo e os tempos limitados permitidos para a transferência de amostras biológicas coletadas para o laboratório no ambiente de coleta e entrega. Em seus testes computacionais, foram usadas instâncias que variam de 8 a 100 pacientes. Em conclusão, o modelo mostrou-se eficiente na busca de boas soluções para grandes instâncias.

### 6.5 MINIMIZAÇÃO DE DISTÂNCIA E MAXIMIZAÇÃO DE SATISFAÇÃO

Foi modelado por [Bertels and Fahle 2006] três algoritmos, baseado em *Simulated Annealing*, no qual foram combinados Programação Linear e Programação por Restrições Lógicas. Para os experimentos computacionais, os autores utilizaram 120 instâncias geradas aleatoriamente, contendo entre 20 e 50 profissionais de saúde, 80 a 200 pacientes, e entre 200 e 600 serviços por dia, cada trabalho tem o tempo entre 6 a 72 minutos e a janela de tempo é de 3 horas. O tempo de trabalho total das enfermeiras varia entre 5 e 9 horas. [Trautsamwieser et al. 2011] propuseram uma heurística baseada em Busca em Vizinhança. Os experimentos computacionais foram desenvolvidos com base em instâncias aleatórias, compreendendo: 30 clientes e 6 enfermeiros; 100 clientes e 20 enfermeiros. Também foram utilizados dados reais, retirados do hospital da Cruz Vermelha.

Uma metaheurística, baseada em Busca Tabu com dois estágios, foi proposta por [Fikar and Hirsch 2015], no primeiro estágio foram identificadas potenciais percursos que podem ser feitos a pé, já no segundo estágio foi otimizado o sistema de transporte. Com o objetivo de minimizar a distância percorrida e equilibrar a carga horária de trabalho, [Nasir and Dang 2016] propuseram um modelo baseado em Programação Linear. Em seu modelo, foram adicionadas penalidades de acordo com o número de pacientes esperando na fila. Para realizar os experimentos computacionais, os autores geraram oito conjuntos diferentes de dados com 160 pacientes e 24 enfermeiras.

[Yalcındag et al. 2016] propuseram um modelo matemático baseado em Programação Linear, e testaram com instâncias reais, não divulgadas, obtidas de uma

empresa de HHC na região da Lombardia e cobre aproximadamente. Já [Verjan et al. 2018] propuseram um modelo de PLI. [Rest and Hirsch 2016] apresentaram uma solução, baseada em Busca Tabu, para o PREPS do Atendimento Domiciliar, para o Hospital Cruz Vermelha em Viena. Os dados para os experimentos computacionais foram retirados do hospital estudado.

[Marcon et al. 2017] propuseram um modelo de Programação Dinâmica e Distribuída. Para a elaboração do modelo e testes computacionais, eles utilizaram estudos de caso, desenvolvidos em hospitais públicos da França. Os experimentos foram realizados com base em dados reais. Foram utilizados 10 enfermeiros e 10 pacientes. Mais detalhes sobre o local não foram divulgados pelos autores.

[Fathollahi-Fard et al. 2018] propuseram um modelo para o problema de escalonamento de roteamento de assistência médica domiciliar baseado em algoritmos genéticos e nuvem de partículas. Por ser o primeiro trabalho a propor uma solução para o Problema de Agendamento de Roteamento em Saúde Domiciliar baseado em Nuvem de Partículas e Algoritmo Genético, os autores destacaram o uso de multi-depósitos; profissionais de saúde polivalentes; várias demandas no mesmo atendimento e incerteza no atendimento. Os experimentos computacionais foram realizados com dados sintéticos, com instâncias pequenas: 8 a 15 pacientes, 2 a 3 enfermeiras, e grandes: 20 a 175 pacientes e 6-25 enfermeiras. Em seu estudo de caso na Bélgica, [Duque et al. 2015] formulou o PREPS, baseado em Busca Local, como um modelo matemático bi-objetivo, baseado na formulação de um problema de particionamento de conjuntos. O modelo foi testado utilizando dados reais, fornecidos por Landelijke Thuiszorg. Enquanto [Xiang et al. 2023] propuseram um novo algoritmo genético de ordenação não-dominada elitista híbrido desenvolvido pela incorporação de um algoritmo de busca local na estrutura básica do NSGA-II. Os resultados de computação em um conjunto de instâncias de benchmarking mostram que o híbrido NSGA-II desenvolvido pode obter soluções Pareto-ótimas aproximadas em um tempo de computação menor quando comparado com o método de restrição para instâncias pequenas; ele também pode ter um desempenho melhor do que o básico NSGA-II e SPEA-II.

## 6.6 EQUILÍBRIO E CARGA HORÁRIA E MAXIMIZAÇÃO DE SATISFAÇÃO

[Nasir and Dang 2019] desenvolveram um modelo baseado em PLI e Pesquisa de Vizinhaça com uma Metodologia de Apoio à Decisão em três fases. Na primeira fase, o

modelo matemático foi construído e resolvido usando PLI. Em seguida, foi elaborada uma heurística com a Pesquisa de Vizinhança. Na segunda fase, o método Bender é implementado para identificar o limite entre a solução com CPLEX e Busca em Vizinhança. Na terceira fase, foi criada a solução final com o conjunto de dados e as restrições da segunda fase. Os experimentos computacionais foram desenvolvidos a partir de instâncias geradas aleatoriamente, com 300 pacientes e 120 enfermeiros.

[Fathollahi-Fard et al. 2019] propuseram um modelo de PLI e uma heurística baseada em Busca de Vizinhança Variável, destacando o uso da técnica de Relaxamento de Lagrange para encontrar o limite inferior do modelo, e usa três heurísticas construtivas e uma meta heurística híbrida. Os experimentos computacionais foram realizados com dados aleatórios. Esses dados consistem em 2-20 enfermeiros, 2-8 veículos e 10-200 pacientes. [Zheng et al. 2021] estudaram um problema de autorização de serviço conjunto e planejamento de capacidade para o PREPS com incerteza de demandas. Os autores formularam o problema como uma programação estocástica de dois estágios, buscando maximizar a receita total esperada. Para encontrar a solução ótima do problema, os autores propuseram um algoritmo de decomposição aninhada baseado em supergradiente que explora a estrutura decomponível do problema para lidar com variáveis binárias e contínuas separadamente.

Focado nas regulamentações trabalhistas, preferência dos profissionais de saúde e incerteza de demanda, [Restrepo et al. 2020] propuseram um modelo estocástico em duas etapas. A primeira etapa corresponde à contratação e agendamento de cuidadores em distritos geográficos. As decisões do segundo estágio estão relacionadas à realocação temporária de cuidadores para distritos vizinhos, para contratar os cuidadores para trabalhar em um dia de folga e permitir a sub e supercobertura da demanda. O modelo foi testado com instâncias reais. Foi proposto por [Torres-Ramos et al. 2014] um modelo de PLI integrando os problemas de escalonamento de enfermeira e o problema de roteamento de veículos com janela de tempo. Seu modelo foi testado com 16 pacientes que podem receber até quatro tipos de serviços, cada um oferecido por 19 profissionais de saúde diferentes.

## 6.7 MINIMIZAR DISTÂNCIA, MAXIMIZAR SATISFAÇÃO E EQUILÍBRIO DE CARGA HORÁRIA

Foi proposto por [Mankowska et al. 2013] uma abordagem heurística de

Representação de Matriz e um modelo de Programação Linear. Seus modelos exatos mostraram-se eficientes para resolver problemas com pelo menos 75 instâncias. Em seu modelo, associou-se o tempo de viagem com a distância percorrida. Os experimentos mostraram bons resultados, por exemplo, com 25 pacientes e 5 enfermeiros. Já [Benzarti et al. 2013] propuseram dois modelos de PLI. No primeiro modelo o tempo médio máximo de espera para os pacientes, estabelecendo um limite superior para a distância permitida entre duas unidades no mesmo bairro. O objetivo principal é equilibrar a carga de trabalho. No segundo modelo destacaram um intervalo máximo de tolerância de carga de trabalho. Para minimizar a distância máxima percorrida, foi o primeiro a usar duas formulações matemáticas para resolver o problema de agendamento de roteamento de assistência domiciliar. Os experimentos computacionais foram realizados a partir de instâncias geradas aleatoriamente. Nestes, 4 cenários foram testados. 10 a 100 unidades básicas, 1 a 4 distritos.

[Redjem et al. 2015] desenvolveram dois modelos de PLI. Em seu modelo, cada paciente pode ser visitado por vários enfermeiros por dia, um enfermeiro por vez. Além da distância percorrida, também procurou-se minimizar o tempo de espera. Além disso, os autores acrescentaram ao seu problema uma restrição na ordem de visitas do enfermeiro e restrições no tempo de trabalho dos enfermeiros. Os modelos foram desenvolvidos por eles para minimizar a distância percorrida pelos enfermeiros e o tempo de espera. Para realizar os experimentos, foram utilizadas instâncias com 10 enfermeiros e 10 pacientes. A duração do atendimento foi definida como 25 minutos e a disponibilidade dos pacientes é igual ao tempo total de trabalho. Por fim, os autores estudaram a complexidade do Problema de Agendamento de Roteamento de Saúde Domiciliar, levando em consideração a razão do impacto do número de tarefas pelo número de enfermeiros. Após a etapa do experimento, concluiu-se que a solução do modelo baseado no Problema do Caixeiro Viajante é mais eficiente do que quando se utiliza o Problema de Planejamento de Recursos com restrições, quando há mais enfermeiros por atividade, caso contrário o RCPSP mostrou melhores resultados.

Foi proposto por [Decerle et al. 2016] um modelo de PLI com duas abordagens: um método de solução de uma fase onde o conjunto de dados completo é considerado como entrada para encontrar a melhor solução possível para o problema e uma matemática de duas fases para distinguir o agendamento das enfermeiras e do pessoal assistencial não licenciado. Para os experimentos computacionais foram utilizadas

instâncias de duas empresas de atendimento domiciliar, as visitas variam entre 20 e 60. Os experimentos foram rodados usando o solver Gurobi.

[Liu et al. 2018] propuseram um modelo baseado em PLI. Como principais requisitos os autores citaram tipos de serviços, frequência dos serviços e tempo de serviço considerado. Entre os requisitos de satisfação da equipe médica, os autores citaram dias de serviço disponíveis e multa por excesso de trabalho também são respeitados no modelo.

Foi proposto por [Shiri et. al 2021] uma heurística Fuzzy em três fases, baseada no método de nuvem. Na primeira fase, um conjunto de locais candidatos qualificados para estabelecimentos de saúde são avaliados usando uma abordagem combinatória que combina um processo de hierarquia analítica fuzzy com análise racional cinza. Seu modelo possui três funções objetivos, a primeira função objetivo minimiza o custo total da rede, o segundo objetivo concentra-se em minimizar os níveis de habilidade superqualificados e o terceiro objetivo maximiza os fatores qualitativos das unidades de saúde.

## 7 CONCLUSÃO

A partir dos trabalhos discutidos, pode-se concluir que entre os métodos exatos, a PLI tem sido a técnica mais utilizada na obtenção de resultados para o PREPS, seguida da Programação Lógica por Restrições. Já entre as metas heurísticas, destacam-se os métodos de Busca em Vizinhança e Busca Tabu.

A partir do estudo dos materiais devolvidos e da Redação da revisão de literatura, nota-se que os objetivos do Problema de Agendamento de Roteamento de Saúde Domiciliar se resumem no Equilíbrio da Carga de Trabalho, Minimização da Distância, Satisfação do Paciente e cuidadores, e minimização da equipe dos profissionais de saúde. Nota-se que a maioria dos trabalhos visam minimizar a distância percorrida.

Além disso, a presença de estudos de caso indica que existem pesquisas associadas às empresas de Atendimento Domiciliar para solucionar problemas específicos enfrentados por elas. Constatou-se também que o Problema de Agendamento de Roteamento de Saúde Domiciliar está principalmente relacionado ao PRVJT, estando também relacionado ao PCVJT.

Notou-se também que não existem trabalhos com algoritmo híbrido de PLI e Programação de Restrições por Restrições relacionando o PREPS ao *Dial a Ride*

*Problem*, com o objetivo de minimizar a frota de veículos. Também não foram encontrados trabalhos com Problema de Roteamento de Veículos Capacitados utilizando algoritmos exatos para encontrar soluções ótimas para o PREPS. Assim como não foram encontrados artigos tratando do Problema de Coleta e Entrega com Janela de Tempos solucionados com métodos exatos.

## REFERÊNCIAS

- Afifi, S., Dang, D. C., Moukrim, A. (2013). A *Simulated Annealing* Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and Synchronization Constraints. In: Nicosia, G., Pardalos, P. (eds) *Learning and Intelligent Optimization. LION 2013. Lecture Notes in Computer Science()*
- Aiane, D., El-Amraoui, A., and Mesghouni, K. (2015). A new optimization approach for a home health care problem. In *2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*.
- Allaoua, H., Borne, S., Letocart, L., and Calvo, R. W. (2013). A matheuristic approach for solving a home health care problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*.
- Angelelli, E., Mansini, R. (2002). The Vehicle Routing Problem with Time Windows and Simultaneous Pick-up and Delivery.
- Amir M. Fathollahi-Fard, Mostafa Hajiaghaei-Keshteli, Reza Tavakkoli-Moghaddam, Neale R. Smith, Bi-level programming for home health care supply chain considering outsourcing, *Journal of Industrial Information Integration*.
- Akjiratikarl, C., Yenradee, P., and Drake, P. R. (2007). Pso-based algorithm for home care worker scheduling in the uk. *Computers and Industrial Engineering*.
- Bredström, D., Rönnqvist, M. 2007. A branch and price algorithm for the combined vehicle routing and scheduling problem with synchronization constraints. Technical report, Department of Finance and Management Science, Norwegian School of Economics and Business Administration
- Bredström, D., Rönnqvist, M. (2008). Combined vehicle routing and scheduling with temporal precedence and synchronization constraints. *European Journal of Operational Research*.
- Bidhandi, H. M., Patrick, J., Noghani, P., and Varshoei, P. (2019). Capacity planning for a network of community health services. *European Journal of Operational Research*.
- Braekers, K., Hartl, R. F., Parragh, S. N., and Tricoire, F. (2016). A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience. *European Journal of Operational Research*, pages 428– 443.
- Bertels, S. and Fahle, T. (2006). A hybrid setup for a hybrid scenario: Combining heuristics for the home health care problem. *Computers and Operations Research*, pages 2866–2890.
- Bahri, O., Talbi, E.-G., and Amodeo, L. (2021). Use of electric vehicles in home health care routing problems: Analysis of a multi-objective approach under uncertainty. *IFAC-PapersOnLine*, pages 127–132.
- Benzarti, E., Sahin, E., and Dallery, Y. (2013). Operations management applied to home care services: Analysis of the districting problem. *Decision Support Systems*, 587 – 598.

Cattafi, M., Herrero, R., Gavanelli, M., Nonato, M., Malucelli, F., and Ramos, J. J. (2012). Improving quality and efficiency in home health care: An application of constraint logic programming for the Ferrara NHS unit. *International Conference on Logic Programming*, page 15–424.

Cappanera P, Scutellà MG (2013) Home care optimization: impact of pattern generation policies on scheduling and routing decisions. *Electron Notes Discret Math* 53–60.

Cappanera, P., Scutella, M. G., Nervi, F., and Galli, L. (2018). Demand uncertainty in robust home care optimization. *Omega*, 95 – 110.

Cissé, M., Yalcindag, S., Kergosien, Y., Sahin, E., Lente, C., and Mattad, A. (2017). Or problems related to home health care: A review of relevant routing and scheduling problems. *Operations Research for Health Care*, pages 13–14.

Cordeau, J.F., Laporte, G., and Mercier, A. (2001). A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the Operational research society*, 928–936.

Cinar, A., Salman, F. S., and Bozkaya, B. (2021). Prioritized single nurse routing and scheduling for home healthcare services. *European Journal of Operational Research*, 867–878.

Cheng, E. and Rich, J. L. (1998). A home health care routing and scheduling problem. Disponível em <https://scholarship.rice.edu/bitstream/handle/1911/101899/TR98-04.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, último acesso em 02/09/2022.

Dengiz, A. O., Altiparmak, F., Kara, I., Atalay, K. D., and Karaoglan, I. (2021). A mathematical model for multi-trip home health care routing problem with time windows. In *International Conference on Management Science and Engineering Management*, pages 113–124.

Decerle, J., Grunder, O., Hassani, A. H. E., and Barakat, O. (2016). A two phases matheuristic for the home care routing and scheduling problem. *IFAC Papers OnLine*, pages 1484–1489.

Decerle, J., Grunder, O., El Hassani, A. H., and Barakat, O. (2017a). Impact analysis of workload balancing on the home health care routing and scheduling problem. In *2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, pages 0096–0101.

Decerle, J., Grunder, O., Hajjam, A., and Barakat, O. (2017b). A general model for the home health care routing and scheduling problem with route balancing. *IFAC PapersOnLine*, pages 14662–14667.

Decerle, J., Grunder, O., Hajjam El Hassani, A., and Barakat, O. (2018a). A memetic algorithm for a home health care routing and scheduling problem. *Operations Research for Health Care*, 16:59–71.

Decerle J., Grunder O., Hassani A. H. E., Barakat O., Impact of the workload definition on the multi-objective home health care problem, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 51, Issue

11, (2018b), Pages 346-351.

Decerle, J., Grunder, O., Hassani, A. H. E., and Barakat, O. (2019). A hybrid memetic ant colony optimization algorithm for the home health care problem with time window, synchronization and working time balancing. *Swarm and Evolutionary Computation*, 46:171 – 183.

Demirbilek, M., Branke, J., and Strauss, A. (2019). Home healthcare routing and scheduling of multiple nurses in a dynamic environment. *Flexible Services and Manufacturing Journal*.

Dohn A., M. S. Rasmussen, T. Justesen, and J. Larsen, *The Home Care Crew Scheduling Problem*, Lecture Notes in Management Science 1st International Conference on Applied Operational Research, 2008, pp. 1–8.

Duque P.A. Maya, M. Castro, K. Sörensen, P. Goos, (2015). Home care service planning. the case of landelijke thuiszorg. *European Journal of Operational Research*, pages 292–301.

Dumas, Y., Desrosiers, J., Gelinas, E., and Solomon, M. M. (1995). An optimal algorithm for the traveling salesman problem with time windows. *Computers and Operations Research*, pages 367–371.

En-nahli, L., Allaoui, H., and Nouaouri, I. (2015). A multi-objective modelling to human resource assignment and routing problem for home health care services. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3):698 – 703.

En-nahli, L., Afifi, S., Allaoui, H., and Nouaouri, I. (2016). Local search analysis for a vehicle routing problem with synchronization and time windows constraints in home health care services. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12):1210 – 1215.

Erdem, M. and çağrı Koç (2019). Analysis of electric vehicles in home health care routing problem. *Journal of Cleaner Production*, 234:1471 – 1483.

Elbenani, B., Ferland, J. A., and Gascon, V. (2008). Mathematical programming approach for routing home care nurses. In *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pages 107–111.

Fikar, C. and Hirsch, P. (2017). Home health care routing and scheduling: A review. *Computers and Operations Research*, pages 86–95.

Frifita, S., Masmoudi, M., and Euchid, J. (2017). General variable neighborhood search for home healthcare routing and scheduling problem with time windows and synchronized visits. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, pages 63–70.

Fathollahi-Fard A. M., Keshteli M. H., Reza Tavakkoli-Moghaddam, A bi-objective green home health care routing problem, *Journal of Cleaner Production*, (2018), Pages 423-443,

Fathollahi-Fard, A. M., Keshteli, M. H., and Mirjalili, S. (2019). A set of efficient

heuristics for a home healthcare problem. *Neural Computing and Applications*.

Fernandez, A., Gregory, G., Hindle, A., and Lee, A. C. (1974). A model for community nursing in a rural county. *Journal of the Operational Research Society*, page 231–239.

Fikar, C. and Hirsch, P. (2015). A matheuristic for routing real-world home service transport systems facilitating walking. *Journal of Cleaner Production*, 300–310.

Gilbert L., The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms, *European Journal of Operational Research*, Volume 59, Issue 3, 1992, Pages 345-358.

Gayraud, F., Deroussi, L., Grangeon, N., and Norre, S. (2013). A new mathematical formulation for the home health care problem. *Procedia Technology*, 1041 – 1047.

Gomes, M. I. and Ramos, T. R. P. (2019). Modelling and (re-)planning periodic home social care services with loyalty and non-loyalty features. *European Journal of Operational Research*, 277(1):284 – 299.

Guericke, D. and Suhl, L. (2017). The home health care problem with working regulations. *OR Spectrum*, page 977–1010.

Gaspero, L. D. and Urli, T. (2014). A cp/lns approach for multi-day homecare scheduling problems. *International Workshop on Hybrid Metaheuristics*, pages 1–15.

Grenouilleau, F., Legrain, A., Lahrichi, N., and Rousseau, L.-M. (2019). A set partitioning heuristic for the home health care routing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 275(1):295 – 303.

Han, S., Zhao, L., Chen, K., wei Luo, Z., and Mishra, D. (2017). Appointment scheduling and routing optimization of attended home delivery system with random customer behavior. *European Journal of Operational Research*, 262(3):966–980.

Heechul Bae, Ilkyeong Moon, Multi-depot vehicle routing problem with time windows considering delivery and installation vehicles, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 40, Issues 13–14, 2016, Pages 6536-6549.

Hiermann, G., Prandtstetter, M., Rendl, A., Puchinger, J., Raidl, G.R., 2015. Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem. *Cent. Eur. J. Oper. Res.* 23, 89e113.

Issaoui, B., Zidi, I., Marcon, E., and Ghedira, K. (2015). New multi-objective approach for the home care service problem based on scheduling algorithms and variable neighborhood descent. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 47:181 – 188. The 3rd International Conference on Variable Neighborhood Search (VNS'14).

Issaoui, B., Zidi, I., and Ghédira, K. (2016). A new metaheuristic for the home health care problem: Caregivers tours and conflict visits. In *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pages 003374– 003380.

Jati, G. K., et al. (2011). Evolutionary discrete firefly algorithm for traveling salesman

problem. In Adaptive and intelligent systems (pp. 393–403).

Jemai, J., Chaieb, M., and Mellouli, K. (2013). The home care scheduling problem: A modeling and solving issue. In 2013 5th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), pages 1–6.

K.C Tan, L.H Lee, Q.L Zhu, K Ou, Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows, Artificial Intelligence in Engineering, Volume 15, Issue 3, 2001, Pages 281-295.

Khodabandeh, P.; Kayvanfar, V.; Rafiee, M.; Werner, F. A Bi-Objective Home Health Care Routing and Scheduling Model with Considering Nurse Downgrading Costs. Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 900.

Kergosien, Y., Lente, C., and Charles Billaut, J. (2009). Home health care problem, an extended multiple traveling salesman problem. Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications, pages 10–12.

Lee, S., Kang, Y., and Prabhu, V. V. (2013). Continuous variable control approach for home care crew scheduling. In 2013 Winter Simulations Conference (WSC), pages 2262–2273.

Li, Y., Xiang, T., and Szeto, W. Y. (2021). Home health care routing and scheduling problem with the consideration of outpatient services. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.

Lin, C. C., Hung, L. P., Liu, W. Y., and Tsai, M. C. (2018). Jointly rostering, routing, and rostering for home health care services: A harmony search approach with genetic, saturation, inheritance, and immigrant schemes. Computers e Industrial Engineering, 115:151 – 166.

Liu, R., Xie, X., Augusto, V., and Rodriguez, C. (2012). Heuristic approaches for a special simultaneous pickup and delivery problem with time windows in home health care industry. IFAC Proceedings 345 – 350.

Liu, R., Xie, X., Augusto, V., and Rodriguez, C. (2013a). Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care. European journal of operational research, 230(3):475 – 486.

Liu, R., Xie, X., and Garaix, T. (2014). Hybridization of tabu search with feasible and infeasible local searches for periodic home health care logistics. Omega, 47:17 – 32.

Liu, M., Yang, D., Su, Q., and Xu, L. (2018). Bi-objective approaches for home healthcare medical team planning and scheduling problem. Computational and Applied Mathematics, 37.

Liu, Ran & Yuan, Biao & Jiang, Zhibin. (2019). A branch-and-price algorithm for the home-caregiver scheduling and routing problem with stochastic travel and service times. Flexible Services and Manufacturing Journal. 31. 1-23.

Liu, W., Dridi, M., Fei, H., El Hassani, A.H., Hybrid Metaheuristics for Solving a Home

Health Care Routing and Scheduling Problem with Time Windows, Synchronized Visits and Lunch Breaks, Expert Systems with Applications (2021).

Liu, W., Dridi, M., Fei, H., and El Hassani, A. H. (2020). A home health care planning problem with continuity of care and flexible departing way for caregivers. IFAC-PapersOnLine.

Luo, H., Dridi, M., and Grunder, O. (2020). A green routing and scheduling problem in home health care. IFAC PapersOnLine, pages 11119–11124.

Marija B., Alenka T.S., David B., Sustainable and Adequate Home-Care Logistics Including Precedence Constraints The authors acknowledge the project J6—9396: DEVELOPMENT OF SOCIAL INFRASTRUCTURE AND SERVICES FOR COMMUNITY BASED LONG-TERM CARE financially supported by the Slovenian Research Agency.(and core funding No. P5—0364.), IFAC-PapersOnLine, Volume 54, Issue 1, 2021, Pages 948-953.

Maria Di Mascolo, Cléa Martinez, Marie-Laure Espinouse, Routing and scheduling in Home Health Care: A literature survey and bibliometric analysis, Computers & Industrial Engineering, Volume 158, 2021.

Mehmet E., Çağrı K., Home health care and dialysis routing with electric vehicles and private and public charging stations, Transportation Letters, 2022.

Martinez, C., Espinouse, M., and Di Mascolo, M. (2018). Continuity of care in home services: a client-centered heuristic for the home health care routing and scheduling problem. In 2018 5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), pages 1045–1050.

Marcon, E., Chaabane, S., Sallez, Y., Bonte, T., and Trentesaux, D. (2017). A multi-agent system based on reactive decision rules for solving the caregiver routing problem in home health care. Simulation Modelling Practice and Theory, 74:134 – 151.

Moussavi, S., Mahdjoub, M., and Grunder, O. (2019). A matheuristic approach to the integration of worker assignment and vehicle routing problems: Application to home healthcare scheduling. Expert Systems with Applications, 125:317 – 332.

Mankowska, D. S., Meisel, F., and Bierwirth, C. (2013). The home health care routing and scheduling problem with interdependent services. Health Care Management Science, page 15–30.

Malagodi L, Lanzarone E, Matta A. Home care vehicle routing problem with chargeable overtime and strict and soft preference matching. Health Care Manag Sci. 2021 Mar;24(1):140-159.

Tanoumand, N. and Unl'uyurt, T. (2021). An exact algorithm for the resource constrained home health care vehicle routing problem. Annals of Operations Research, 304(1):397–425.

Martin, E., Cervantes, A., Saez, Y., and Isasi, P. (2020). Iacs hcsp improved ant colony optimization for large scale home care scheduling problems. Expert Systems with

## Applications.

Masmoudi, M. and Mellouli, R. (2014). Milp for synchronized-mtsptw: Application to home healthcare scheduling. In 2014 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), pages 297–302.

Nickel, S., Schröder, M., and Steeg, J. (2012). Mid-term and short-term planning support for home health care services. *European Journal of Operational Research*, 219(3):574 – 587.

Nikzad, E., Bashiri, M., and Abbasi, B. (2021). A matheuristic algorithm for stochastic home health care planning. *European Journal of Operational Research*, 288(3):753–774.

Naji, W., Masmoudi, M., and Mellouli, R. (2017). A robust-milp for synchronized mtsptw: Application to home health care under uncertainties. In 2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), pages 1089–1094.

Nasir, J. A. and Dang, C. (2016). Identifying quantitative thresholds for the home health care problem. In 2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC), pages 220–225.

Nasir, J. and Dang, C. (2019). Quantitative thresholds based decision support approach for the home health care scheduling and routing problem. *Health Care Management Science*, pages 1–24.

Nasir, J. A. and Kuo, Y.-H. (2020). A decision support framework for home health care transportation with simultaneous multi-vehicle routing and staff scheduling synchronization. *Decision Support Systems*, 138.

Naji, W., Masmoudi, M., and Mellouli, R. (2017). A robust-milp for synchronized-mtsptw: Application to home health care under uncertainties. In 2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), pages 1089–1094.

Nguyen, T. V. L. and Montemanni, R. (2016). Integrated home health care optimization via genetic algorithms and mathematical programming. *Evolutionary Computation (CEC)*, pages 553–561.

Nickel, S., Schroder, M., and Steeg, J. (2012). Mid-term and short-term planning support for home health care services. *European Journal of Operational Research*, 219(3):574 – 587.

Olavo A. D., Eduardo R. V., Peter F. W., Abdollah H. V., Longitudinal bibliometric analysis applied to home care services, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Volume 205, 2021, 106108.

Rasmussen, M. S., Justesen, T., Dohn, A., and Larsen, J. (2012). The home care crew scheduling problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies. *European Journal of Operational Research*, pages 598–610.

Rabeh, R., Said, K., and Eric, M. (2011). Collaborative model for planning and scheduling caregivers' activities in homecare. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1):2877 – 2882.

Restrepo, M. I., Rousseau, L. M., and Vallee, J. (2020). Home healthcare integrated staffing and scheduling. *Omega*, 95:102057.

Rest, K.-D. and Hirsch, P. (2015). Supporting urban home health care in daily business and times of disasters. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3):686 – 691.

Rest, K. D. and Hirsch, P. (2016). Daily scheduling of home health care services using time dependent public transport. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 28:495–525.

Riazi, S., Wigstrom, O., Bengtsson, K., and Lennartson, B. (2019). A column generation-based gossip algorithm for home healthcare routing and scheduling problems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 16(1):127–137.

Redjem, R., Marcon, E., and Xie, X. (2015). Management of the care activities in home health care services: The routing and scheduling of caregivers level. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2015:712–718.

Ralphs, T., Kopman, L., Pulleyblank, W. et al. On the capacitated vehicle routing problem. *Math. Program., Ser. B* 94, 343–359 (2003).

Solomon, M. M. (1985). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research*, 35:254–265.

Sina Shahnejat-Bushehri, Reza Tavakkoli-Moghaddam, Mehdi Boronoos, Ahmad Ghasemkhani, A robust home health care routing-scheduling problem with temporal dependencies under uncertainty, *Expert Systems with Applications*, Volume 182, 2021, 115209.

Shi, Y., Boudouh, T., and Grunder, O. (2017). A hybrid genetic algorithm for a home health care routing problem with time window and fuzzy demand. *Expert Systems with Applications*, 72:160–176.

Shi, Y., Boudouh, T., Grunder, O., and Wang, D. (2018). Modeling and solving simultaneous delivery and pick-up problem with stochastic travel and service times in home health care. *Expert Systems with Applications*, 102:218 – 233.

Shi, Y., Boudouh, T., and Grunder, O. (2019). A robust optimization for a home health care routing and scheduling problem with consideration of uncertain travel and service times. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 128:52 – 95.

Shiri, M., Ahmadizar, F., and Mahmoudzadeh, H. (2021). A three-phase methodology for home healthcare routing and scheduling under uncertainty. *Computers e Industrial Engineering*, 158:107416.

Shahnejat-Bushehri, S., Tavakkoli-Moghaddam, R., Momen, S., Ghasemkhani, A., and

Tavakkoli-Moghaddam, H. (2019). Home health care routing and scheduling problem considering temporal dependencies and perishability with simultaneous pickup and delivery. *IFAC-PapersOnLine*, pages 118 – 123.

Trautsamwieser, A., Gronalt, M., and Hirsch, P. (2011). Securing home health care in times of natural disasters. *OR Spectrum*, 33:787–813.

Trautsamwieser, A. and Hirsch, P. (2011). Optimization of daily scheduling for home health care services. *JAOR*. 3. 124-136.

Trautsamwieser A, Hirsch P (2014) A Branch-Price-and-Cut approach for solving the medium-term home health care planning problem. *Networks* 64(3):143–159.

Trabelsi, S., Larbi, R., and Alouane, A. H. (2012). Linear integer programming for the home health care problem. *Business Process Management Workshops*, pages 143–151.

Tohidifard, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navazi, F., and Partovi, M. (2018). A multi-depot home care routing problem with time windows and fuzzy demands solving by particle swarm optimization and genetic algorithm. *IFAC Papers OnLine*, 51(11):358 – 363.

Torres-Ramos, A., Alfonso-Lizarazo, E., Reyes-Rubiano, L., and Quintero-Araujo, C. (2014). Mathematical model for the home health care routing and scheduling problem with multiple treatments and time windows.

Tozlu, B., Daldal, R., and Unluyurt, T. (2016). Crew constrained home care routing problem with time windows. *Computational Intelligence*, pages 7–10.

Yang, M., Ni, Y., and Yang, L. (2021). A multi-objective consistent home health-care routing and scheduling problem in an uncertain environment. *Computers and Industrial Engineering*.

Yong S., Toufik B., Olivier G., A robust optimization for a home health care routing and scheduling problem with consideration of uncertain travel and service times, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 128, 2019, Pages 52-95.

Yalcındag, S., Cappanera, P., Scutella, M. G., Sahin, E., and Matta, A. (2016). Pattern-based decompositions for human resource planning in home health care services. *Computers e Operations Research*, 73:12 – 26.

Verjan, C. R., Augusto, V., and Xie, X. (2018). Home health care network design: Location and configuration of home health care centers. *Operations Research for Health Care*, 17:28 – 41.

Xiang, T., Li, Y. and Szeto, W.Y. (2023), The daily routing and scheduling problem of home health care: based on costs and participants' preference satisfaction. *Intl. Trans. in Op. Res.*, 30: 39-69.

Xiao, L., Dridi, M., and Hassani, A. H. E. (2018). Mathematical model for the home health care scheduling and routing problem with flexible lunch break requirements. *IFAC*

PapersOnLine, 51(11):334 – 339.

Zheng, C., Wang, S., Li, N., and Wu, Y. (2021). Stochastic joint homecare service and capacity planning with nested decomposition approaches. *European Journal of Operational Research*, 295(1):203–222.