

Escalonamento de Visitas Domiciliárias de um Centro de Saúde

Alexandra Isabel Morais Gomes, n^o31637

Este trabalho foi efetuado sob a orientação de:

Prof^a. Ana Isabel Pereira

Prof. António Duarte

Obtenção do grau de Mestre em Tecnologia Biomédica

2018-2019

Escalonamento de Visitas Domiciliárias de um Centro de Saúde

Dissertação de Mestrado em Tecnologia Biomédica
Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Alexandra Isabel Morais Gomes, nº31637

2018-2019

Dedicatória

*"A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos,
mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda."*

Oliver Goldsmith

Agradecimentos

Aos orientadores e companheiros, os professores Ana Isabel Pereira e António Duarte, quero agradecer por todo o apoio, dedicação durante este ano letivo de trabalho intenso, pela disponibilidade que cada um teve para me poder acompanhar nesta jornada. Pela paciência e compreensão que tiveram comigo para chegar ao melhor caminho, pelos ensinamentos, pelo conhecimento, pelos telefonemas, mensagens e emails trocados esclarecendo todas as minhas dúvidas e, essencialmente, por nunca me deixarem duvidar do meu esforço e dedicação a este trabalho.

À professora Elisa Barros, um agradecimento particular pela simpatia, disponibilidade, atenção e ajuda que me demonstrou ao deixar-me assistir às aulas da cadeira de Investigação Operacional e pela dedicação que teve para comigo.

À minha avó, o meu maior agradecimento, por todo o sacrifício que fez e continua a fazer para que eu lute pelos meus objetivos. Pelas palavras sábias de força, coragem e motivação para que eu continue a ir mais além e nunca baixar os braços. Pela educação, amor e presença em todas as fases da minha vida e, por nunca me ter deixado desamparada, mesmo nos momentos mais difíceis. A ela devo tudo o que sou e tenho hoje.

Aos meus tios, que para mim são como meus irmãos, agradeço todo o carinho demonstrado ao longo do meu crescimento e pelas palavras amigas que sempre tiveram para comigo.

Aos meus amigos, por se preocuparem comigo, pela compreensão demonstrada e pelo incentivo a não desistir e continuarem a acreditar em mim desde o início.

Ao IPB, nomeadamente à escola do coração e que vou ter saudades, ESTIG, um

obrigado por me deixar usufruir das instalações e pelas condições que me proporcionou durante todo o meu percurso acadêmico.

A todos eles, inclusive à minha família e, em especial, à minha mãe e ao meu avô, que mesmo não presentes fisicamente estão presentes no meu coração, são uma referência e inspiração para mim, dedico todo o meu trabalho e esforço e, é por eles, também, que hoje sou a pessoa que sou.

Resumo

A saúde é um dos poderosos fatores de integração e coesão social, mas também de geração de riqueza e bem-estar.

Nas sociedades desenvolvidas, o envelhecimento da população constitui uma evidência. Portugal, assim como outros países da Europa, tem vindo a registar nas últimas décadas profundas transformações demográficas caracterizadas, entre outros aspetos, pelo aumento da longevidade e da população idosa e pela redução da natalidade e população jovem.

Assim, os cuidados de saúde domiciliários são cuidados prestados de forma continuada, orientados para a resolução dos problemas de saúde das pessoas e cuja complexidade não requer a sua institucionalização mas que, pela sua situação de dependência global, transitória ou crónica, as impede de se deslocarem aos Centros de Saúde, distinguindo-se este conceito por hospitalização domiciliária. Os cuidados de saúde domiciliários concretizam-se através de Visitas Domiciliárias, cuja periodicidade das visitas programadas varia em função das necessidades de cuidados do doente e deverá ser estabelecida, consensualmente na e em equipa, onde necessariamente se inclui o doente, o cuidador e/ou família, com base nos resultados que se pretende atingir. Normalmente, as visitas são planeadas de forma manual e sem apoio computacional.

Desta forma, torna-se imprescindível, para as Unidades de Saúde que desempenham serviços de cuidados ao domicílio, otimizar os planeamentos relacionados. Assim, surge o problema de planeamento de rotas para veículos (*Vehicle Routing Problem*, VRP), um problema complexo de otimização combinatória bem conhecido, cujo objetivo é encontrar a rota mais curta. Neste caso, para as equipas de profissionais de saúde, realizam procedimentos médicos para pacientes doentes, na qual administram medicamentos e vários

tipos de tratamentos.

Neste trabalho, pretende-se realizar o planeamento automático das visitas domiciliárias, de uma Unidade de Saúde de Bragança, com o objetivo de minimizar o tempo total despendido pelos enfermeiros e, desta forma, reduzir os custos envolvidos. Também se pretende, com este trabalho verificar qual a metodologia mais eficaz para realizar as visitas domiciliárias, comparando os resultados obtidos pela metodologia que irá ser abordada com um algoritmo de programação inteira, com os resultados obtidos pela metodologia já estudada em literatura, o Algoritmo Genético.

A metodologia desenvolvida foi testada no *CPLEX*, que permitiu resolver o problema de forma eficiente e breve em tempo de resolução, obtendo as respetivas soluções de planeamento das visitas domiciliárias para os dados apresentados. Em todos os horários das visitas domiciliárias a realizar pelos enfermeiros, verificou-se uma redução significativa do tempo gasto pelos enfermeiros, assim como, no tempo de espera dos pacientes.

Palavras-chave: Programação Inteira. Cuidados Domiciliários. Otimização. VRP.

Abstract

Health is one of the powerful factors of social integration and cohesion, but also of wealth and well-being.

In developed societies, the aging of the population is evidence. Portugal, as well as other European countries, has undergone deep demographic changes in recent decades, characterized by, among other aspects, the increase in longevity and the elderly population, the reduction of the birth rate and the young population.

Therefore, home health care is a continuous of care directed at solving people's health problems and whose complexity does not require institutionalization but which, because of their global, transitory or chronic dependence, prevents them from to the Health Centers, distinguishing this concept by home hospitalization. Home health care is carried out through Home Visits, whose periodicity of scheduled visits varies according to the patient's care needs and should be established, consensually in and in a team, where necessarily includes the patient, caregiver and/or family, based on the results to be achieved. Usually visits are planned manually and without computer support.

In this way, it is essential for the Health Units that perform home care services to optimize related planning. Thus, arises the Vehicle Routing Problem (VRP), a well-known complex combinatorial optimization problem, which aims to find the shortest route. In this case, for teams of healthcare professionals, they perform medical procedures for sick patients who administer medications and various types of use.

In this study, we intend to carry out the automatic planning of home visits, from a Bragança Health Unit, with the aim of minimizing the total time spent by nurses and, in this way, reducing the costs involved. It is also intended, with this work, to verify which

is the most effective methodology to make home visits, comparing the results obtained by the methodology that will be approached with an entire programming algorithm, with the results of the methodology already studied in the literature, or in the genetic algorithm.

The developed methodology was tested in the CPLEX, which allowed to solve the problem in an efficient and brief way in resolution time, obtaining the respective solutions of home visits planning for the presented data. At all times of home visits by nurses, there was a significant reduction in the time spent by nurses, as well as in patients' waiting time.

Keywords: Entire Programming. Home Care. Optimization. VRP.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivações e Objetivos	6
1.2	Estrutura do Relatório	7
2	Enquadramento da Prestação de Cuidados de Saúde Domiciliários	9
2.1	Cuidados Domiciliários e Visitas Domiciliárias	10
2.2	Rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados	11
2.3	Tipos de serviços prestados ao domicílio	13
3	Logística, Otimização e Planeamento de Rotas	15
3.1	A Logística na Saúde	15
3.2	Programação Linear	18
3.3	Otimização	23
3.3.1	Métodos para a Otimização	24
3.4	Planeamento de Rotas	25
3.4.1	O Problema do Caixeiro Viajante	26
3.4.2	Problema de Rotas Ótimas	27
3.4.3	Variantes do VRP	29
4	Métodos de Otimização	33
4.1	<i>Solver CPLEX</i>	34
4.2	Algoritmo Simplex	36

4.3	Algoritmo Branch and Bound	38
4.4	Algoritmo Genético	39
5	Desenvolvimento do Modelo	43
5.1	Definição do Problema	45
5.2	Formulação Matemática do Problema	47
5.2.1	Problema de Roteamento do Autocarro Escolar	50
6	Testes preliminares	53
6.1	Definição dos testes preliminares	53
6.1.1	Teste preliminar 1	54
6.1.2	Teste preliminar 2	56
6.1.3	Teste preliminar 3	57
6.2	Validação do Modelo	58
6.2.1	Discussão de resultados - Teste preliminar 1	59
6.2.2	Discussão de resultados - Teste preliminar 2	60
6.2.3	Discussão de resultados - Teste preliminar 3	62
7	Testes Computacionais	67
7.1	Recolha de dados e sua caracterização	68
7.1.1	Tipos de serviços prestados ao domicílio e o seu tempo médio de duração	68
7.1.2	Número e caracterização dos enfermeiros e pacientes	69
7.2	Resultados obtidos	72
7.3	Discussão dos resultados	87
8	Conclusões e Trabalho Futuro	91

Lista de Tabelas

2.1	Serviços prestados de acordo com os tipos de visitas domiciliárias e sua duração, em minutos.	14
6.1	Tempo médio dos tratamentos que cada enfermeiro realiza no teste preliminar 1, em minutos.	54
6.2	Tratamentos necessários para cada paciente no teste preliminar 1.	54
6.3	Localidades dos Pacientes para visitas domiciliárias no teste preliminar 1.	55
6.4	Informação relativa aos tempos de viagem entre as diferentes localidades no teste preliminar 1, em minutos.	55
6.5	Tempo médio dos tratamentos que cada enfermeiro realiza no teste preliminar 2, em minutos.	56
6.6	Tratamentos necessários para cada paciente no teste preliminar 2.	56
6.7	Localidades dos pacientes para as visitas domiciliárias, no teste preliminar 2.	56
6.8	Informação relativa aos tempos de viagem entre as diferentes localidades no teste preliminar 2, em minutos.	57
6.9	Tempo médio dos tratamentos que cada enfermeiro realiza no teste preliminar 3, em minutos.	57
6.10	Tratamentos necessários para cada paciente no teste preliminar 3.	57
6.11	Localidades dos Pacientes para as visitas domiciliárias no teste preliminar 3.	58
6.12	Informação relativa aos tempos de viagem entre as diferentes localidades no teste preliminar 3, em minutos.	58
6.13	Tempo gasto no total da rota obtida, em minutos, no teste preliminar 1.	60

6.14	Tempo gasto no total da rota obtida, em minutos, no teste preliminar 2. . .	61
6.15	Tempo gasto no total da rota obtida, em minutos, no teste preliminar 3. . .	62
6.16	Tempo de execução necessário para obter a solução nos três testes preliminares, em segundos.	63
6.17	Número de soluções ótimas para os tempos despendidos nas visitas domiciliárias (em minutos) por cada enfermeiro no AG, para os três testes preliminares.	64
6.18	Número de soluções ótimas para os tempos despendidos nas visitas domiciliárias por todos os enfermeiros no Solver CPLEX, para os três testes preliminares.	64
6.19	Resultados Computacionais para os três testes preliminares.	64
7.1	Serviços prestados segundo os tipos de visitas domiciliárias e a sua duração, em minutos.	69
7.2	Tempo médio de tratamentos que cada enfermeiro exerce no dia de trabalho, em minutos.	70
7.3	Tratamentos necessários para cada paciente atribuídos às visitas domiciliárias.	71
7.4	Designação abreviada das localidades.	71
7.5	Localidades dos pacientes atribuídos às visitas domiciliárias.	72
7.6	Informação relativa aos tempos de viagem entre as diferentes localidades, em minutos.	72
7.7	Revisão do planeamento obtido para o dia 1 de visitas domiciliárias.	75
7.8	Revisão do planeamento obtido para o dia 2 de visitas domiciliárias.	78
7.9	Revisão do planeamento obtido para o dia 3 de visitas domiciliárias.	81
7.10	Revisão do planeamento obtido para o dia 4 de visitas domiciliárias.	84
7.11	Revisão do planeamento obtido para o dia 5 de visitas domiciliárias.	86
7.12	Tempo total despendido por cada enfermeiro nos planeamentos obtidos, segundo o AG, segundo [7].	88

7.13	Tempo total despendido por cada enfermeiro nos planeamentos obtidos, segundo o Solver CPLEX.	88
7.14	Tempo total despendido em cada dia nos planeamentos obtidos pelo Solver CPLEX.	89
7.15	Tempos das execuções das soluções pelo Solver CPLEX.	89

Lista de Figuras

1.1	Índice de envelhecimento, Portugal, 2007-2017 [2].	2
1.2	Índice de dependência total, Portugal, 2007-2017 [2].	3
1.3	Índice de renovação da população em idade ativa, Portugal, 2007-2017 [2].	3
3.1	Trinómio de dimensões da gestão logística aplicada à Saúde, figura adaptada [18].	17
3.2	Representação gráfica da região admissível, adaptado [19].	21
3.3	Representação gráfica da solução ótima, adaptado [19].	21
3.4	Representação gráfica da solução ótima, adaptado [19].	22
3.5	Representação gráfica de um VRP, adaptado de [21].	28
3.6	Variantes do VRP, adaptado de [28].	30
4.1	Representação gráfica da solução ótima, adaptado [19].	37
4.2	Diagrama de funcionamento do Método Branch and Bound [40].	39
4.3	Fluxograma de um AG, adaptado [44].	41
5.1	Esquema gráfico de uma solução de um Problema de Roteamento de Veículos (VRP), com um depósito (local de origem), adaptado de [21].	44
7.1	Abordagem final à definição de um modelo de otimização.	67
7.2	Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 1 de visitas domiciliárias.	74
7.3	Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 2 de visitas domiciliárias.	77

7.4	Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 3 de visitas domiciliárias.	79
7.5	Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 4 de visitas domiciliárias.	82
7.6	Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 5 de visitas domiciliárias.	85

Capítulo 1

Introdução

A saúde é um dos poderosos fatores de integração e coesão sociais, mas também de geração de riqueza e bem-estar. Nas sociedades desenvolvidas, o envelhecimento da população constitui uma evidência [1]. Esta realidade tem determinado, quer por parte dos responsáveis políticos quer pela sociedade civil e, mesmo por investigadores, a procura de estratégias de intervenção que permitam minimizar os efeitos mais negativos deste processo, de modo a intervir em áreas diversas como as da saúde, da economia e, mais especificamente, nos sistemas de proteção social, assim como nas estruturas familiares. Ao aumento da esperança de vida está normalmente associado o declínio físico e mental, assim como a maior prevalência de doenças crónicas, o que leva a determinar a limitação do indivíduo na satisfação das suas necessidades. A diversidade de serviços disponíveis para a satisfação dessas mesmas necessidades é uma realidade e, variam consoante o desenvolvimento das sociedades, procurando responder de modo global a solicitações de natureza muito diversificada. Posto isto, Portugal, assim como outros países da Europa, têm vindo a registar nas últimas décadas profundas transformações demográficas caracterizadas, entre outros aspetos, pelo aumento da longevidade e da população idosa e pela redução da natalidade e população jovem. Face aos dados fornecidos pela documentação em [2], em 2016, a população jovem (pessoas com menos de 15 anos) diminuiu e a população com idade igual ou superior a 65 anos aumentou, representando em 2017, respetivamente, 13.8% e 21.5% da população total estimada; a população mais idosa (idade igual ou superior a 85

anos) corresponde uma percentagem de 13.4% da população com 65 ou mais anos. Nos últimos dez anos é visível o duplo envelhecimento demográfico, pois, o número de idosos (pessoas com 65 ou mais anos) aumentou, o número de jovens diminuiu e o número de pessoas em idade ativa (idades compreendidas entre os 15 e os 64 anos) também reduziu. Com isto, a idade média da população residente em Portugal passou de 41,1 anos em 2007 para 44,2 anos em 2017, o que corresponde a um aumento de 3,1 anos. Ainda dentro do envelhecimento demográfico, este é transversal a todos os países da União Europeia (constituída por 28 países). É, ainda, importante referir que em 2016, ano mais recente para o qual existem dados disponibilizados pelo Eurostat, e por comparação com o ano de 2015, observou-se que se mantém o peso da população jovem na população total (15.6%) e que aumentou com a proporção de idosos passando de 17.6% para 19.4%. Relativamente à evolução dos índices-resumo da estrutura etária da população residente, esta evidencia o envelhecimento demográfico em Portugal, como se pode observar no aumento do índice de envelhecimento (número de idosos por 100 jovens), representado na Figura 1.1. Assim, desde o ano de 2000 que o número de idosos é superior ao número de jovens, assim como em 2007 que por cada 100 jovens residiam em Portugal 114 idosos, valor que aumentou para 155 em 2017.

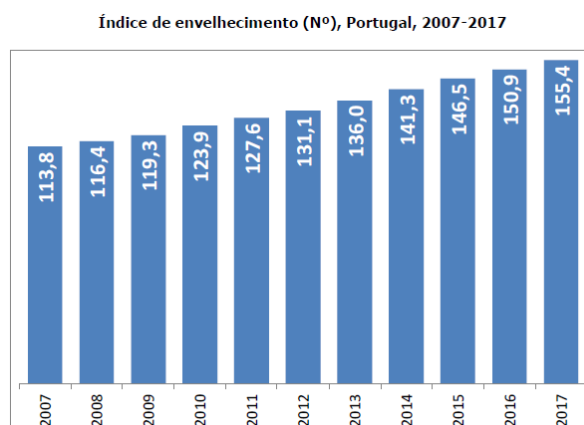


Figura 1.1: Índice de envelhecimento, Portugal, 2007-2017 [2].

Igualmente, pelo índice de dependência total (número de jovens e idosos por cada 100 pessoas em idade ativa), continua a aumentar, acentuando a pressão demográfica sobre a

população em idade ativa. Em 2007, por cada 100 pessoas em idade ativa residiam em Portugal 50 jovens e idosos, valor que aumentou para 55 em 2017, como se pode observar no gráfico da Figura 1.2.

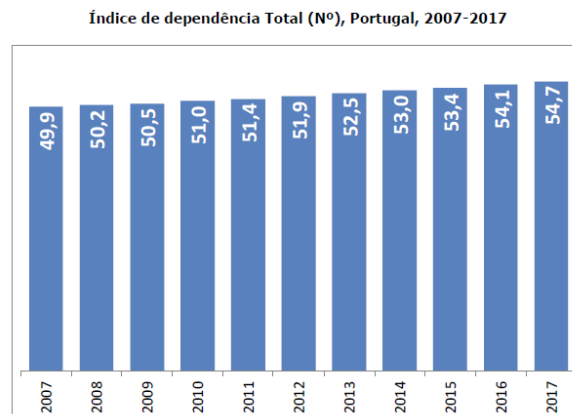


Figura 1.2: Índice de dependência total, Portugal, 2007-2017 [2].

Verifica-se igualmente o envelhecimento da própria população em idade ativa, como evidencia a diminuição do índice de renovação da população em idade ativa (número de pessoas com 20 a 29 anos de idade por cada 100 pessoas com 55 a 64 anos de idade). Ou seja, em 2007, por cada 100 pessoas com 55 a 64 anos de idade existiam 110 pessoas com 20 a 29 anos de idade, valor que reduziu para 79 em 2017, como podemos observar no gráfico da Figura 1.3.

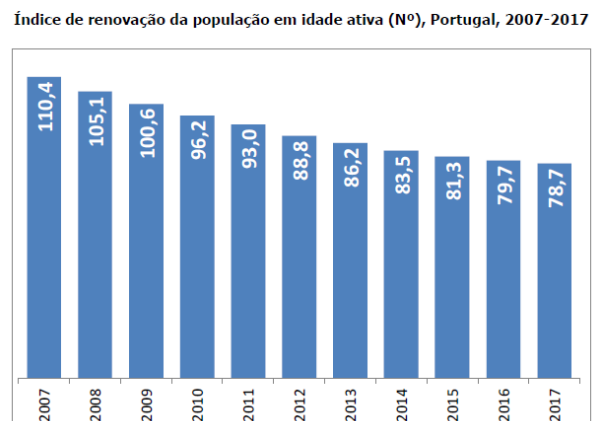


Figura 1.3: Índice de renovação da população em idade ativa, Portugal, 2007-2017 [2].

Atendendo aos dados em [2], ainda em 2016, no conjunto de países da União Europeia

(28 países), Portugal apresentava uma proporção de jovens inferior à da média da União Europeia, a terceira mais baixa da União Europeia (14.0%). No que respeita à população idosa, a proporção desta em Portugal, foi superior à média da União Europeia, sendo o 4º país com maior peso de idosos [2].

Já em Bragança, no ano de 2014, apresentava um índice de dependência total e um índice de envelhecimento muito baixos, pois o número de residentes com 65 anos ou mais, por 100 habitantes, com 15 ou menos anos é de 193, o que significa que o número de residentes idosos quase atinge o dobro do número de residentes jovens. O processo de envelhecimento acarreta um declínio gradual do estado de saúde, que coloca os idosos em situação de fragilidade, visto que a saúde destes se traduz pela sua condição de autonomia e independência e, neste sentido, é essencial ter uma abordagem positiva da saúde focada na capacidade de viver uma vida socialmente ativa, de forma independente, promovendo deste modo um enfoque mais social aos cuidados de saúde e, não considerar apenas a presença ou ausência de doença.

Deste modo, a promoção da saúde adota uma visão positiva face à saúde, pressupondo que esta pode ajudar a atrasar o desencadeamento de doenças e incapacidades, melhorando a qualidade de vida. De acordo com [3] e [4], a promoção da saúde é o processo de capacidade dos indivíduos, para se responsabilizarem pelo controlo e melhoria da sua própria saúde, sendo esta entendida como um recurso para a vida e não como uma finalidade de vida, que está associado a um conjunto de valores como: qualidade de vida, saúde, solidariedade, democracia, cidadania, desenvolvimento, participação e parceria e de estratégias resultantes de uma ação conjunta do Estado, da comunidade e do próprio indivíduo, responsabilizando-o pela sua própria saúde.

Posto isto, o progresso científico e o avanço das tecnologias deverão estar claramente integrados e definidos nas atividades de apoio domiciliário. É neste sentido, que surge a Rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados (RNCCI), que se foca na prestação de cuidados de saúde e de apoio social às pessoas em situação de dependência. O seu modelo concetual baseia-se na promoção de autonomia da pessoa em situação de dependência, de modo a que esta recupere as funcionalidades afetadas pela situação de saúde baseando-se

na continuidade de cuidados sem falhas, articulando os diferentes níveis de cuidados.

Por questões éticas de garantir a acessibilidade aos cuidados e evitar a exclusão social, entidades como a Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Conselho da Europa (2004), ressaltam a necessidade de os doentes crónicos não serem discriminados por se encontrarem no domicílio. Este local surge como o mais privilegiado para a prestação dos cuidados aos doentes crónicos, nomeadamente aos mais dependentes e/ou em fase avançada de doenças graves e incuráveis [5]. Então, os cuidados de saúde domiciliários são cuidados prestados de forma continuada, orientados para a resolução dos problemas de saúde das pessoas que cuja complexidade não requer a sua institucionalização mas que, pela sua situação de dependência global, transitória ou crónica, as impede de se deslocarem ao Centro de Saúde (CS), distinguindo-se este conceito por hospitalização domiciliária.

Os cuidados de saúde domiciliários concretizam-se através de Visitas Domiciliárias, cuja periodicidade das visitas programadas varia em função das necessidades de cuidados do doente e deverá ser estabelecida, consensualmente na/e em equipa, onde necessariamente se inclui o doente, o cuidador e/ou família, com base nos resultados que se pretende atingir. Para uma melhor coordenação, monitorização e avaliação das diferentes intervenções é necessário distribuir, claramente, tarefas e responsabilidades a cada profissional (médicos e/ou enfermeiros) nas equipas de saúde e quais as rotas que essas equipas devem percorrer para visitar os pacientes no seu lar.

Desta forma, torna-se imprescindível, para as Unidades de Saúde que desempenham serviços de cuidados ao domicílio, otimizar os planeamentos relacionados. O trabalho em horas extras e o comprimento das rotas estabelecidas para visitarem os pacientes são parâmetros que se revelam essenciais na perspetiva de um melhor planeamento e melhoria do serviço. Com isto, proporciona-se um melhor atendimento aos pacientes, por exemplo, visitá-los no horário que lhes é mais favorável [6].

O problema de planeamento de rotas para veículos (*Vehicle Routing Problem*, VRP) é um problema complexo de otimização combinatória bem conhecido. O seu objetivo é encontrar a rota mais curta, por exemplo, para a entrega e recolha de mercadorias, sendo que o mesmo pode ser aplicável na prestação de cuidados domiciliários a pacientes.

No caso particular das equipas de profissionais de saúde, estas não entregam mercadorias, mas realizam procedimentos médicos para pacientes doentes, na qual administram medicamentos e vários tipos de tratamentos.

1.1 Motivações e Objetivos

Os serviços de cuidados de saúde ao domicílio são cada vez mais importantes nos dias de hoje. Para muitos idosos é impossível a sua deslocação aos hospitais, centros de saúde, laboratórios, entre outros tipos de serviço de saúde, devido a vários motivos, como a mobilidade reduzida, a distância elevada desde as habitações até aos locais de saúde, questões financeiras, as suas casas serem isoladas ou até pela preferência, devido ao seu estado de dependência, em receber os cuidados de saúde no conforto do seu lar.

De modo a administrar os tratamentos necessários a estes doentes, os profissionais de saúde têm como tarefa realizar visitas ao domicílio. Neste contexto e para solucionar estes problemas, é preciso recorrer a um melhor entendimento do material necessário para os serviços de cuidados domiciliários, garantindo a melhor gestão deste tipo de serviços. Assim, este trabalho de otimização contribui para uma melhor caracterização dos serviços de cuidados domiciliários e na obtenção de modelos matemáticos que otimizam as rotas das visitas para posteriores decisões, por parte das equipas de saúde.

Com o propósito de otimizar as rotas e horários dos enfermeiros, foi proposto pela Unidade de Santa Maria (Bragança, Portugal) o desenvolvimento de um sistema capaz de resolver este problema. Nesta Unidade de Saúde, as equipas que prestam os cuidados e realizam as visitas domiciliárias são os mesmos que planeiam as rotas, que consideram ser a melhor, tendo em conta o seu conhecimento sobre a área geográfica em que operam. A probabilidade de a rota escolhida não ser a melhor opção, aumenta quando surgem restrições, como por exemplo, o tempo estipulado para a realização das visitas, o tempo gasto em viagens e nos tratamentos para que sejam respeitados pelos profissionais de saúde e até os custos envolvidos no planeamento de rotas.

Atualmente, nesta Unidade de Saúde, as rotas definidas são feitas com base na experiência e na ausência de apoio de qualquer modelo matemático. Em consequência, pretende-se desenvolver um sistema flexível e eficaz para a resolução do planeamento de rotas. No problema em causa, de forma a melhorar o serviço de prestação de cuidados domiciliários, o objetivo fulcral prende-se em minimizar o tempo total necessário para os enfermeiros visitarem todos os pacientes, a partir da melhor abordagem quer a já estudada noutros trabalhos [7], quer a que se vai estudar ao longo deste trabalho.

1.2 Estrutura do Relatório

O presente relatório encontra-se dividido em oito capítulos.

No segundo, terceiro e quarto capítulos são abordados as partes teóricas deste trabalho. Primeiramente é feito um enquadramento sobre a prestação dos cuidados de saúde ao domicílio, atendendo à Unidade de Saúde em causa. Esta unidade de saúde, assim como muitas outras em Portugal, estão inseridas na Rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados e, para tal será descrito a sua origem, funcionamento e apoio fornecido a doentes, principalmente na prestação de cuidados domiciliários; posteriormente, no terceiro capítulo, é abordado, de forma breve e sucinta revisão da literatura sobre a logística na saúde, otimização e o planeamento de rotas, áreas pelas quais o presente trabalho se insere. No quarto capítulo são descritas algumas das metodologias de resolução existentes no problema em estudo, realçando o método utilizado neste trabalho, pelo Solver CPLEX.

No quinto e sexto capítulos são definidos os modelos e as diferentes abordagens matemáticas utilizadas para aplicação e resolução dos testes preliminares de forma a avaliar e a validar a metodologia desenvolvida.

No sétimo capítulo são apresentados os testes computacionais, que abrange uma situação mais real dos Centros de Saúde. Neste capítulo, pretende-se obter o escalonamento ótimo dos enfermeiros da Unidade de Saúde de Santa Maria. A solução obtida é comparada com o planeamento utilizado.

Por último, no oitavo capítulo, são apresentadas as principais conclusões e perspetivas

para possíveis aplicações futuras.

Capítulo 2

Enquadramento da Prestação de Cuidados de Saúde Domiciliários

Falar em cuidados domiciliários na comunidade é evidenciar um paradigma diferente de assistência em saúde/doença. Deixa de ser efetuada em contextos institucionais e passa a ser desenvolvida na comunidade, na residência do paciente. Esta deslocalização requer dos profissionais de saúde, em particular dos enfermeiros, readaptações e diferentes dinâmicas de intervenção/ação consoante a natureza dos cuidados a prestar e as realidades dos domicílios, consequentemente evitando idas desnecessárias do paciente e familiares às instituições de saúde.

A problemática dos Cuidados Domiciliários está cada vez mais na ordem do dia, nomeadamente em Portugal, onde a taxa de doenças crónicas e incapacitantes na população é elevada e que, só excecionalmente carecem de internamento hospitalar de elevados custos.

Por outro lado, além das doenças crónicas, também o aumento da esperança média de vida, com o conseqüente aumento da população de idosos e, a falta de camas hospitalares impõem uma abordagem diferente da prestação de cuidados.

Hoje em dia, temos idosos cada vez mais dependentes e, isto leva a um aumento dos custos de saúde; os internamentos são caros e, muitas vezes, a vida profissional dos familiares não lhes permite acompanhar os doentes como seria desejável. Surgem então os

cuidados no domicílio que, além de assegurarem a qualidade dos tratamentos e ajudarem a reduzir a despesa, proporcionam conforto e bem-estar a quem deles necessita-tratados em casa, os pacientes sentem-se melhor, mais acompanhados e a sua recuperação é melhor [8].

Numa conferência de imprensa, Hans Kluge, especialista em saúde pública e representante da Organização Mundial da Saúde no grupo de peritos que a pedido do Governo português avaliou as nossas políticas de saúde, recomendou que "Portugal deve direccionar para o apoio domiciliário" muitos dos serviços que são prestados em ambiente hospitalar e, terminou dizendo "muitos doentes, nomeadamente crónicos, não precisam de ser curados, mas antes terem qualidade de vida"[9].

2.1 Cuidados Domiciliários e Visitas Domiciliárias

Os cuidados domiciliários representam a componente do cuidado de saúde global continuado [10]. Desta forma, os cuidados prestados aos indivíduos e às famílias, nos seus locais de residência, têm por finalidade promover, manter ou recuperar a saúde, maximizando o nível de independência ou minimizando os efeitos da deficiência ou da doença terminal [10].

Portanto, os cuidados domiciliários devem ser planeados, coordenados e adequados às necessidades do paciente e do respetivo suporte familiar, por profissionais preparados e capazes para tal.

Quando nos referimos a cuidados domiciliários e a visitas domiciliárias, devemos ter em consideração que ambos os conceitos são distintos, contudo complementares e interligados [11].

Porém, os cuidados domiciliários podem ser definidos como os serviços prestados ao indivíduo e respetiva família na sua própria habitação, sendo o prestador de cuidados domiciliários uma pessoa ou instituição que presta cuidados no domicílio.

Os serviços de saúde na prestação de cuidados domiciliários incluem cuidados domiciliários médicos, cuidados de enfermeiros, fisioterapia, terapia ocupacional, psicologia,

serviço social ou, ainda, cuidados paliativos que permitem que doentes em fase terminal recebam apoio ao longo dos estágios finais das suas vidas e no bem-estar do seu lar.

Os cuidados domiciliários de saúde ficam a cargo da Rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados, que surge em Portugal, para dar respostas às necessidades decorrentes do envelhecimento da população.

2.2 Rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados

O modelo atual de prestação de cuidados de saúde, ainda muitas vezes mais organizado para responder aos episódios agudos da doença, torna-se portanto desadequado, para responder às necessidades de saúde de uma população em envelhecimento, como referido anteriormente. De facto, ao gerar-se internamentos evitáveis, com desperdício de recursos, acaba por determinar o aparecimento de dependências e, até, o esgotamento das famílias, cujos recursos e disponibilidade não encontram suporte em serviços de proximidade e de apoio ao domicílio. Isto implica com que a maioria dos cidadãos em situação de dependência é cuidada por familiares, sem nenhuma formação prévia para esta função.

Estas situações obrigaram à rápida aplicação de um modelo conceptual integrado, presente na Rede de Cuidados Continuados de Saúde, que se propõe a promover a manutenção das pessoas idosas no seu meio habitual de vida e melhorar a igualdade do acesso daquelas pessoas a cuidados de qualidade, flexíveis, transitórios ou de longa duração, assegurando a continuidade de cuidados, ou seja, a transição, sem aberturas e ao longo do tempo, das pessoas em situação de dependência entre os diferentes tipos de respostas e níveis de prestação de cuidados de saúde e de apoio social com ganhos em anos de vida com independência [12].

A rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados (RNCCI) é, então, uma resposta de saúde e apoio social à pessoa e família em situação de dependência. Esta rede incorpora competências de enfermagem e internamento, permitindo uma gestão mais eficiente do

sistema de saúde, desocupando vagas de internamento de episódios agudos e adequando os cuidados ao contexto clínico do doente [13].

Criada em 2006, pelos Ministérios da Saúde e do Trabalho e da Solidariedade Social, a Rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados assenta num modelo de intervenção integrado e/ou articulado da saúde e da segurança social, de natureza preventiva, recuperadora e paliativa, envolvendo a participação e colaboração de diversos parceiros sociais, a sociedade civil e o Estado como principal incentivador [5].

A intervenção do Serviço Social nos Cuidados Continuados está inscrita no [14] e os profissionais de Serviço Social são chamados a intervir numa perspetiva multidisciplinar integrada em equipas de planeamento de alto acesso a cuidados no domicílio e no acompanhamento da reabilitação dos doentes e das famílias na comunidade, centrando-se, assim, na satisfação das necessidades humanas e no desenvolvimento dos recursos humanos. Com isto, a nível da Saúde e da RNCCI, a intervenção dos profissionais de serviço social obedece a procedimentos, como: acolhimento social, diagnóstico social, plano de ação e acompanhamento, execução, avaliação do respetivo plano.

Assim sendo, uma das instituições que faz parte deste programa é o Centro de Saúde de Bragança - Unidade de Saúde de Santa Maria, pertencente à Unidade Local de Saúde do Nordeste, que com a intervenção de uma Unidade de Cuidados na Comunidade (UCC) na população do Concelho de Bragança, providenciam cuidados básicos de saúde ao domicílio. O distrito de Bragança, tem registado nas últimas décadas um importante decréscimo da população residente. Este decréscimo deve-se essencialmente a um saldo negativo, que está na origem de um duplo envelhecimento da população com o aumento da população idosa e simultâneo decréscimo do número de nascimentos, assim como na diminuição progressiva da população ativa, e num aumento do índice de dependência dos idosos, com todas as repercussões económico-sociais que esta situação acarreta, fazendo com que os pacientes mais idosos recorram a este tipo de serviço. Consequentemente, o número de profissionais e meios necessários para conseguirem corresponder às expectativas do programa RNCCI também aumenta. Na tentativa de minimizar os custos envolvidos, é necessário utilizar estratégias que diminuam os custos, sem piorar a qualidade dos serviços prestados.

No capítulo 3, destaca-se, de forma detalhada, uma das possíveis estratégias a usar, isto é, o escalonamento ótimo dos profissionais de saúde envolvidos nas visitas domiciliárias.

2.3 Tipos de serviços prestados ao domicílio

A prestação de cuidados domiciliários pode ter significados e objetivos diferentes, dependendo do contexto ao qual nos referimos em determinado momento [11]. Para [15], sugere-nos duas categorizações mais recentes das visitas domiciliárias. Uma delas é denominada de "trabalho de comunidade" que constitui uma atividade de caráter contínuo, onde a abordagem ao indivíduo engloba as vertentes física, psicológica e social, sendo o indivíduo considerado um ser biopsicossocial. A outra é denominada de "serviço domiciliário curativo ou domicílio", que é dirigida para aspetos curativos e para a resolução de problemas centrados quase exclusivamente em aspetos biológicos.

Interessa-nos transmitir que, independentemente das diversas categorizações que estejam estabelecidas e que possamos encontrar, a prestação de cuidados domiciliários e a realização de visitas domiciliárias têm de ter em consideração os objetivos da sua execução e concretização, tendo em conta a situação em causa. Por isso, é necessário agir de acordo e em concordância com as necessidades do indivíduo em questão, a respetiva família e os recursos ao seu dispor [11].

Em suma, os serviços prestados podem agrupar-se em:

- Visita domiciliária Curativa (Tratamentos, atitudes terapêuticas, colheita de análises, entre outras), com duração de 15 minutos em média por cada intervenção;
- Visita domiciliária de Vigilância, com duração de 1 hora em média;
- Visita domiciliária de Reabilitação, com duração de 1 hora em média.

O tempo apresentado foi indicado e recolhido através das normas para o cálculo de dotações seguras dos cuidados de enfermagem, que permite determinar as necessidades

dos clientes em cuidados de enfermagem traduzíveis em horas de cuidados, segundo dados na [16].

De acordo com a Tabela 2.1, consideram-se cinco tratamentos distintos, particularizando, a descrição, caracterização e duração dos mesmos.

Tabela 2.1: Serviços prestados de acordo com os tipos de visitas domiciliares e sua duração, em minutos.

Tratamento	Descrição do Tratamento	Caracterização	Dur. (min.)
1	Visita Domiciliária Curativa	Tratamentos, por exemplo, da úlcera de pressão, úlcera venosa, feridas cirúrgicas, feridas traumáticas, ligaduras, remover material de sutura, queimaduras, avaliação e vigia de pensos em feridas.	30
2	Visita Domiciliária de Vigilância e Reabilitação	Avaliação, execução e monitorização do paciente	60
3	Visita Domiciliária Curativa e de Vigilância	Tratamento de ferida, vigiar penso, monitorização de frequência e tensão, ensinar e instruir o paciente das complicações e patologias	75
4	Visita Domiciliária de Vigilância	Avaliar risco de queda, auto cuidado, comportamentos do paciente e ainda os conhecimentos do prestador. Monitorizar altura, tensão e frequência cardíaca. Regime dietético e medicamentoso do paciente.	60
5	Visita Domiciliária	Avaliar, apoiar e ensinar sobre o luto.	60

Capítulo 3

Logística, Otimização e Planeamento de Rotas

3.1 A Logística na Saúde

Nos últimos anos, a logística ou gestão logística vem adquirindo uma evolução constante, sendo hoje um dos elementos chave na formação da estratégia competitiva das empresas. Atualmente, pode ser considerada como ponto crucial da cadeia produtiva integrada, atuando em estreita consonância com a moderna administração da cadeia de suprimentos [17].

Considera-se como gestão logística toda a gestão de fluxos físicos e de informação, ou seja, o planeamento, a implementação e o controlo dos fluxos de matérias-primas, produtos em vias de fabrico, produtos finais, serviços e soluções. Paralelamente, considera-se ainda como gestão logística o planeamento, a implementação e o controlo dos fluxos de informação associados aos fluxos de matérias-primas, produtos em vias de fabrico, produtos finais, serviços e soluções [18].

Operacionalmente, a logística possui uma visão empresarial, pois administra os recursos materiais, financeiros, pessoas e informação, para que exista movimento na organização, possibilitando a gestão desde a compra, a entrada de materiais, o planeamento da

produção, o armazenamento, o transporte e a distribuição dos produtos, controlando e administrando as operações e informações, ou seja, toda a parte de entrega e recepção de produtos e serviços na organização.

Se se passar a um contexto de saúde várias são as formas como se pode analisar e explicar a presença da logística.

Um hospital, é uma unidade económica que possui vida própria e, difere das outras empresas, porque o seu objetivo principal é a manutenção ou restabelecimento da saúde do paciente. Desta forma, numa organização hospitalar, o produto é representado por uma série de serviços prestados como parte do processo de tratamento.

O crescente aumento da complexidade estrutural e do funcionamento dos hospitais ocasionou uma mudança baseada em tecnologias e novas estratégias de negócio principalmente na área de gestão logística. As tecnologias aplicadas à área de saúde, embora modernas e eficientes, fizeram com que houvesse um aumento dos custos dos produtos médicos hospitalares que precisam estar prontos para qualquer tipo de atendimento e as empresas prestadoras de serviços de saúde, influenciadas pelo mercado globalizado, procuram reorganizar a sua estrutura para sobreviver às crises económicas e atingir o seu objetivo [17].

Desta forma, para oferecer qualidade é necessário considerar as tradicionais questões sobre valores morais e sociais da população beneficiária dos serviços de saúde. Esta situação exige adequados modelos de atendimento otimizando recursos, aumentando a produtividade e elevando os níveis de satisfação. Por isso, numa unidade de prestação de cuidados de saúde há logística em todo o processo em encontrar fornecedores para materiais de consumo clínico, para produtos farmacêuticos, para equipamentos, para serviços de lavanderia, de *catering* ou de limpeza e vigilância, entre outros [17] e [18].

Pode-se, ainda, presenciar numa unidade de prestação de cuidados de saúde, paralelamente, toda uma outra logística ligada ao paciente, doente, utente ou cliente (conforme a designação pretendida) e que irá ocorrer quando se verifica um evento, um desastre, uma doença até ao momento em que esse mesmo paciente venha a sair da instituição que o acolheu, tratou e, desejavelmente, lhe deu alta em condições adequadas. Ou seja,

neste contexto, poderá configurar-se uma logística de entrada, na instituição que irá acolher o paciente, uma logística de triagem e/ou de marcação de consulta, uma logística de direcionamento e/ou redirecionamento, uma logística de espera, uma logística de atendimento, uma logística de tratamento, uma logística de intervenção cirúrgica, uma logística de recobro e, final e desejavelmente, uma logística de alta, no sentido em que o paciente entrou no sistema de saúde debilitado, doente e, dele saiu para voltar à sociedade, estando presumivelmente, em adequadas condições de saúde face ao estado em que nele entrou [18].

A necessidade dos profissionais de saúde incluírem nas suas competências a gestão da logística nas unidades em que executam as suas atividades, constitui um elemento chave na solução de problemas existentes nas unidades de saúde.

Dos pontos anteriores, podem resultar de uma perceção da gestão logística que é algo abrangente e ausente de instrumentos/ferramentas de decisão. Contudo, a complexidade existe, mas reduz-se quando são aplicados os instrumentos da Figura 3.1, permitindo que os objetivos sejam atingidos.

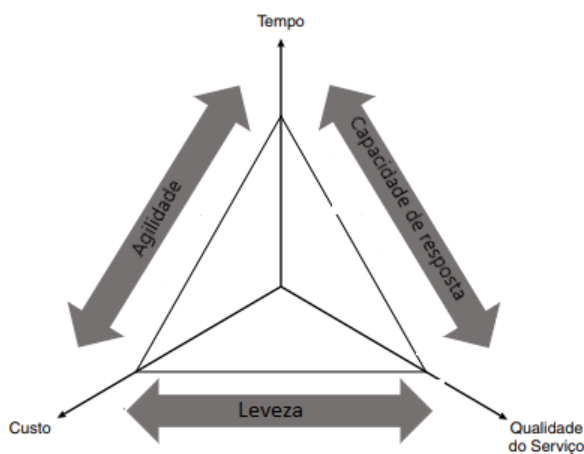


Figura 3.1: Trinómio de dimensões da gestão logística aplicada à Saúde, figura adaptada [18].

As dimensões centrais da gestão logística, em particular, a prestação de cuidados de saúde, são o tempo, o custo e a qualidade do serviço. Isto quer dizer que, embora

se reconheça a dificuldade, pretende-se obter os baixos tempos de resposta, ainda mais fiáveis, baixos custos e elevado serviço ao paciente.

Porém, há mais a considerar na observação deste trinómio de tempo, custo e qualidade de serviço. E esse mais assenta precisamente na conjugação das dimensões duas a duas pois, juntas desta maneira, desenvolvem alguns argumentos que podem ser importantes para a maneira como se pretende posicionar o sistema logístico.

Nestas circunstâncias, uma boa conjugação entre o tempo e o custo desenvolve a variável agilidade (*agility*); uma boa conjugação entre o custo e qualidade de serviço desenvolve a variável leveza (*leanness*) e uma boa conjugação entre o tempo e qualidade de serviço desenvolve a variável capacidade de resposta (*responsiveness*) [18].

3.2 Programação Linear

Os problemas de otimização podem ser divididos em várias categorias de acordo com as características que apresentam.

Em matemática, problemas de Programação Linear (PL) são problemas de otimização nos quais a função objetivo e as restrições são todas lineares, caso contrário, diz-se não linear. Dentro dos problemas lineares, quando todas as variáveis podem tomar valores reais (pertencentes a \mathfrak{R}), os problemas designam-se simplesmente por lineares. Se as variáveis apenas puderem tomar valores inteiros, os problemas designam-se por *inteiros* (se todas as variáveis forem inteiras) ou *inteiros mistos*, se houver variáveis inteiras e variáveis reais. Dentro das variáveis inteiras existe ainda um grupo de variáveis que apenas pode tomar os valores 0 ou 1, sendo estas classificadas como variáveis do tipo *binárias* [19].

Os problemas de otimização também podem ser chamados de problemas de programação matemática. Isto, porque a palavra programação não tem a ver com programação de computadores, mas sim com a programação no sentido de planeamento de atividades, em que um programa é o mesmo que um plano, isto é, a solução do problema de otimização. Desta forma, um problema de programação linear (PL) é o mesmo que um problema de

otimização linear e um problema de programação inteira (PI) é o mesmo que um problema de otimização inteira. Às vezes, também se referem a modelos de programação inteira mista (PIM), que são problemas lineares onde existem variáveis reais e variáveis inteiras [19].

A diferenciação entre os vários tipos de problemas de otimização é muito importante, porque para cada um deles é preciso recorrer a diferentes tipos de algoritmos de resolução. Por exemplo, para um algoritmo criado para resolver problemas lineares, este não consegue resolver problemas não lineares, em princípio. Porém, um algoritmo criado para resolver problemas não lineares consegue resolver problemas lineares, apesar de forma menos eficaz do que algoritmos criados especificamente para programação linear. Para exprimir um problema de programação linear, sendo um modelo exato, aquele que traduz de forma fiel a realidade; ou aproximado à realidade, aquele que por motivos de complexidade, desconhecimento exato da realidade, falta de ferramentas adequadas, etc.; é preciso estabelecer expressões que constituem a função objetivo e as restrições[19]. Ora, como foi referido anteriormente, um problema de programação linear teria que ter uma função objetivo e um conjunto de restrições que fossem lineares em relação às variáveis. Desta maneira, as variáveis deveriam ser do tipo real, isto é, admitirem variação contínua.

Se os elementos a_i representarem constantes e os elementos de x_i representarem variáveis de decisão, uma expressão linear será sempre do tipo [19]:

$$a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \tag{3.1}$$

Neste tipo de expressões, as constantes a_i definem uma instância de dados enquanto que as variáveis x_i são desconhecidas.

São exemplos de expressões lineares:

- Produtos de variáveis;
- Termos quadráticos ou de ordem superior;
- Expoentes;

- Logaritmos, funções trigonométricas, etc;
- Valores absolutos.

Já uma restrição do tipo linear será sempre escrita como:

- expressão linear \leq expressão linear ou
- expressão linear \geq expressão linear ou
- expressão linear = expressão linear

Porém, numa restrição do tipo linear é sempre possível rearranjar os termos de forma a obter uma expressão nas formas:

- expressão linear \leq constante ou
- expressão linear \geq constante ou
- expressão linear = constante

Já num problema com apenas duas ou três variáveis é possível representar graficamente os modelos de programação linear [19]. Na Figura 3.2, estão representadas restrições de um problema bem como a região admissível.

É de lembrar que as restrições com variáveis não negativas, também delimitam a região admissível, tal como todas as outras. Por isso, qualquer ponto pertencente à região colorida é uma solução admissível, pois respeita todas as restrições. Inversamente, qualquer solução fora da região referida é uma solução não admissível, pois viola, pelo menos, uma restrição [19].

Na Figura 3.3, está representada graficamente a relação entre a região admissível e a função objetivo.

Os pontos que formam as linhas vermelhas da figura acima representada, correspondem a soluções que têm o mesmo valor para a função objetivo [19].

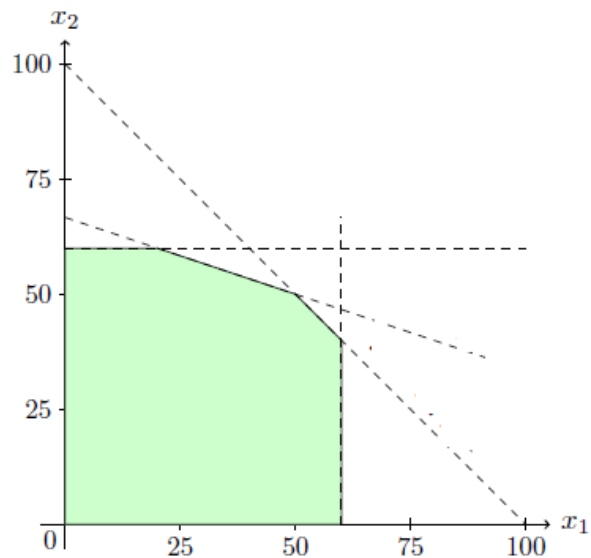


Figura 3.2: Representação gráfica da região admissível, adaptado [19].

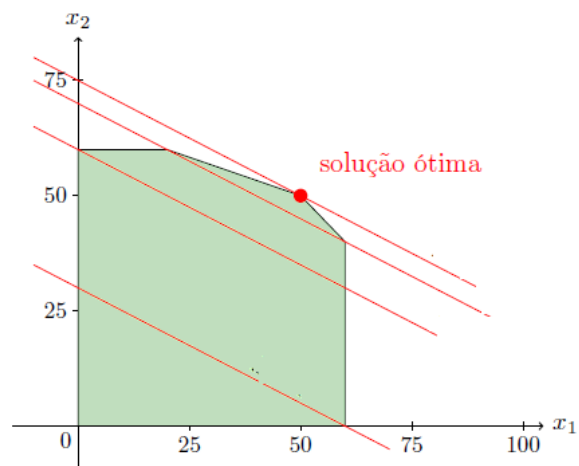


Figura 3.3: Representação gráfica da solução ótima, adaptado [19].

Existem duas situações nas quais uma solução ótima pode não ser encontrada. A primeira, se as restrições se contradizem (por exemplo, $x \geq 2$ e $x \leq 1$) logo, a região admissível é vazia e não pode haver solução ótima, já que não há solução nenhuma. Neste caso, o problema de Programação Linear é dito inviável.

Alternativamente, a região admissível pode ser ilimitada na direção da função objetivo (por exemplo: maximizar $x_1 + 3x_2$ sujeito a $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$, $x_1 + x_2 \geq 10$). Neste caso, não

existe solução ótima, uma vez que as soluções arbitrariamente grandes da função objetivo podem ser construídas, e o problema é dito ilimitado ou impossível.

Fora estas duas condições, é imediato verificar que a solução ótima, caso seja única, está sempre localizada num vértice da região admissível.

Porém, se as linhas da função objetivo forem paralelas a uma face da região admissível, o problema tem soluções múltiplas, em que todos os pontos dessa face são soluções ótimas. Esta situação pode ocorrer se a função objetivo for uniformemente igual a uma constante.

A Figura 3.4 ilustra esta última situação.

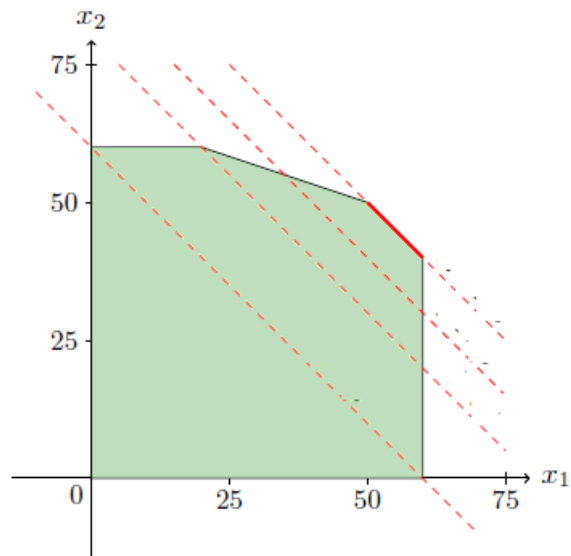


Figura 3.4: Representação gráfica da solução ótima, adaptado [19].

Pode-se observar, que todos os pontos do segmento de reta assinalado a vermelho são soluções ótimas para o problema.

Historicamente, as ideias da programação linear inspiraram muitos dos conceitos centrais da teoria da otimização, tais como a dualidade, a decomposição, e a importância da convexidade e suas generalizações.

3.3 Otimização

A otimização consiste em encontrar a melhor solução de um determinado problema, de entre todas as soluções existentes. São muitas vezes denominados por problemas de minimização ou maximização, uma vez que envolvem a descoberta de mínimos e/ou máximos de funções que modelam o problema em questão. Sendo assim, a otimização é uma ferramenta essencial na ciência da decisão e na análise de sistemas físicos.

Num problema de otimização é necessário identificar qual o objetivo, isto é, qual a medida quantitativa do desempenho do sistema em estudo. Este objetivo pode ser o lucro, o tempo, a energia potencial ou qualquer quantidade ou combinação de quantidades que podem ser representadas por um único número, dependendo de determinadas características do sistemas, chamadas de variáveis ou incógnitas.

Por isso, a finalidade é encontrar os valores das variáveis que otimizam o objetivo. Muitas vezes, as variáveis possuem certas restrições [20].

O processo de identificação de objetivos, variáveis e restrições para um determinado problema é conhecido como modelação do problema. A construção de um modelo apropriado é o primeiro passo, porém, é o passo mais importante no processo de otimização. Se o modelo for muito simplista, este não fornecerá informações úteis sobre o problema prático em questão, mas se for muito complexo, pode ser muito difícil resolver o problema.

Então, num problema de otimização, x é o vetor das variáveis, também chamado de incógnitas; f é a função objetivo, isto é, uma função de x que se pretende maximizar ou minimizar; c é o vetor das restrições que têm que ser satisfeitas, segundo [20]. O problema de otimização pode ser escrito da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \min_{x \in \mathbb{R}^n} \quad & f(x) \\ \text{s.a} \quad & c_i(x) = 0, i \in E, \\ & c_i(x) \geq 0, i \in I. \end{aligned} \tag{3.2}$$

onde f e cada c_i , com $i \in E \cup I$ são funções reais, onde E e I são o conjunto de índices das restrições de igualdade e desigualdade, respetivamente.

Portanto, a função objetivo é a função que se pretende otimizar. As funções de igualdade ou desigualdade, são designadas de restrições que representam as condições à resolução do problema. A região admissível é a região onde nenhuma restrição é violada e onde podem ser encontrados um conjunto de soluções admissíveis do problema em questão.

Problemas com a forma geral (3.2), podem ser classificados de acordo com a natureza da função objetivo e restrições, o número de variáveis, a suavidade das funções e, assim por diante. Possivelmente, a distinção mais importante é entre problemas que têm restrições nas variáveis e aqueles que não têm. Quando a função objetivo e todas as restrições são funções lineares de x , o problema é designado como um problema de programação linear. Problemas de programação não-linear, são problemas onde pelo menos algumas das restrições ou a função objetivo são funções não-lineares. Contudo, existem outros tipos de problemas que podem ser considerados em que a solução é um conjunto de inteiros. Como derivam de uma natureza combinatória, estes problemas são conhecidos como problemas de otimização combinatória, dos quais fazem parte, por exemplo, problemas de gestão de inventários, problemas de planeamento de rotas de veículos, problemas de escalonamento de trabalhadores, entre outros [7].

3.3.1 Métodos para a Otimização

O primeiro passo e o mais importante no processo de otimização é recorrer à construção de um modelo apropriado ou desenvolver um método. Por isso, quando se pretende resolver um problema qualquer de otimização é necessário *modelar* a realidade. A fase de modelação consiste no processo de traduzir a realidade num conjunto de equações que descrevem a função objetivo e as restrições do problema a resolver [19].

Para tal, existem problemas que podem ser modelados de forma exata, ou seja, o modelo traduz de forma fiel a realidade modelada e, existem outros problemas em que tal não é possível, por motivos de complexidade, desconhecimento exato da realidade, falta de ferramentas adequadas, etc. Nesta situação, o problema é uma aproximação à realidade [19].

O modelo desenvolvido para este trabalho será apresentado no próximo capítulo.

Após a formulação do problema, para que se encontre a solução, podem ser usados um ou mais algoritmos. Cada algoritmo está adaptado para um tipo específico de problemas de otimização. Daí os algoritmos de otimização serem iterativos, pois começam com uma estimativa inicial dos valores ótimos das variáveis e geram uma sequência de estimativas melhoradas para que atinjam uma solução. O utilizador tem a responsabilidade de escolher o algoritmo que é mais adequado para uma aplicação específica. Esta escolha é relativamente importante, pois permite determinar se o problema é resolvido de forma rápida ou lenta e, se a solução é de facto encontrada. No capítulo seguinte, também serão abordados quais os algoritmos utilizados.

Para reconhecer se o modelo estabelecido foi bem-sucedido ao encontrar uma solução, depois do algoritmo de otimização ter sido aplicado ao modelo estabelecido, no final deste trabalho é feita uma análise e discussão dos resultados obtidos, na tentativa de perceber se vão de acordo com as expectativas. Porém, o modelo pode ser melhorado introduzindo técnicas, como por exemplo uma análise de sensibilidade, que permite avaliar a sensibilidade da solução a alterações no modelo e dados, isto é, permite traçar diversos cenários na análise da viabilidade do modelo e verificar até que ponto essa viabilidade se mantém.

Finalizando, caso sejam efetuadas alterações ao modelo, o problema de otimização é resolvido novamente e, o processo repete-se.

3.4 Planeamento de Rotas

A nível operacional e na definição de planeamento de rotas, o *Vehicle Routing Problems* (VRP), tem sido estudado intensivamente depois de se ter percebido a sua grande aplicabilidade em muitas das situações reais. Neste sentido, o desenvolvimento de modelos para a resolução destes problemas assume um papel fundamental na otimização de situações que fazem parte do nosso dia-a-dia.

Assim, as questões relacionadas com o planeamento de rotas, desde os modelos e

algoritmos propostos para a resolução de VRP ou Problemas de Planeamento de Rotas de Veículos podem ser usados, para planeamento de rotas/horários na prestação de cuidados de saúde ao domicílio, principal objetivo desta dissertação.

O VRP é um problema de otimização complexo que está associado ao Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem*) (TSP), problema mais bem fundamentado e estudado do problema de Planeamento de Rotas de Veículos [21]. Desta forma, na subsecção seguinte, será feita uma breve explicação do TSP.

3.4.1 O Problema do Caixeiro Viajante

O problema do Caixeiro Viajante é um clássico exemplo de problema de otimização combinatória conhecido e aplicado em várias áreas, em que o Caixeiro Viajante precisa de visitar um certo número de cidades e voltar para a cidade de onde partiu. A tarefa do algoritmo utilizado é determinar a sequência ótima de cidades a percorrer, de forma a que a distância percorrida seja mínima [22].

A função objetivo a minimizar no TSP clássico é a distância percorrida, onde pode ser adicionado um "peso" ao caminho.

O problema do Caixeiro Viajante serve atualmente de problema padrão (*benchmark*) para testar algoritmos de otimização combinatória, porque para este tipo de problemas não existem algoritmos que levem à solução ótima num tempo viável. Por outras palavras, para a obtenção de soluções aproximadas tem como finalidade que as soluções sejam encontradas num tempo razoável para os fins práticos a que se destina e, que a sua qualidade seja o melhor possível tendo em conta as limitações de tempo [22].

Com a evolução da sociedade surgiram as necessidades e preocupações suplementares, tais como a hora e os dias a que os clientes/pacientes querem ser visitados, entre outras, que levaram ao estudo de diversas variantes deste problema.

Seguidamente, apresenta-se o problema que pode ser designado por problema de rotas ótimas, que surgiu devido a alguns aspectos mencionados anteriormente.

3.4.2 Problema de Rotas Ótimas

Muitos dos métodos desenvolvidos para o VRP são baseados nos métodos para o TSP, pelo que é normal estabelecerem-se comparações entre os resultados obtidos para os dois problemas. No entanto, é reconhecido que o VRP é mais complexo e mais difícil de resolução que o TSP.

Posto isto, o problema de rotas ótimas pode ser caracterizado como o problema que tem como objetivo encontrar as melhores rotas possíveis para uma determinada frota de veículos atender um determinado conjunto de clientes dispersos geograficamente, estando sujeito a um conjunto de restrições [7].

Depois de todas as restrições operacionais serem consideradas, é realizada a definição de rotas tendo em conta que nenhuma destas restrições pode ser desrespeitada.

Dada uma frota de veículos com capacidade uniforme, um centro de distribuição comum e diferentes clientes que constituem pontos de procura, o VRP pretende encontrar o conjunto de rotas que simultaneamente minimiza o custo total e permite satisfazer toda a procura, segundo [23]. As rotas devem ser planeadas tendo em conta algumas restrições como o facto de cada cliente/paciente só poder ser visitado uma única vez e por um só veículo. Todas as rotas devem começar e terminar no "local de origem" e a procura total dos vários clientes/pacientes pertencentes a uma determinada rota, não pode exceder a capacidade do veículo escalonado para efetuar essa mesma rota.

Então, estes problemas têm assim como objetivo de minimizar os custos operacionais que envolvem, normalmente, a redução do número de veículos que constituem a frota e a distância ou tempo totais de viagem [24].

Cada conjunto de arestas com início e fim no local de origem da Figura 3.5, representa um caminho a ser percorrido por um veículo. A cada ligação está associado um custo que geralmente corresponde a uma distância ou um tempo de percurso dependendo do veículo utilizado e do objetivo logístico.

Os objetivos podem ser considerados diferentes, desde a minimização dos custos totais do transporte dependendo da distância percorrida ou do tempo gasto no percurso,

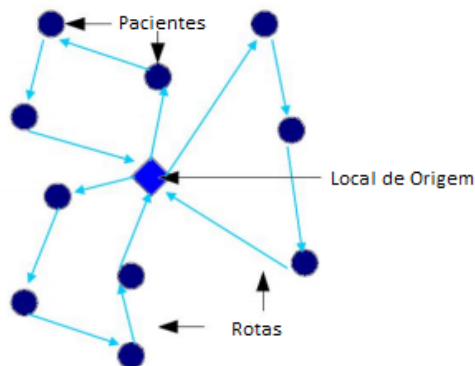


Figura 3.5: Representação gráfica de um VRP, adaptado de [21].

minimização do número de veículos utilizados nos percursos, entre outros.

Os algoritmos de solução do VRP, segundo [25], podem ser utilizados em vários casos do mundo real, nas áreas de logística, além da entrega de materiais, temos os exemplos de transporte de autocarros escolares, limpeza de ruas, transporte de vendedores, etc. A possibilidade de modelação deste problema estende-se a outras situações práticas como visitas médicas domiciliárias, deslocamentos de manutenção preventivas, distribuição de roupa, entre outros [26].

Devido às restrições impostas pelos clientes e fornecedores, por exemplo, tempos de entrega, capacidades do veículo, velocidade, entre outros, o problema de VRP não pode ser considerado somente como um problema geográfico [7]. Como cada organização tem um conjunto específico de necessidades, surgiu um grande número de variantes deste problema, que têm sido propostas e estudadas na literatura, pelo que hoje o VRP representa não um mas uma enorme família de problemas que apresentam um objetivo comum: a redução do número de veículos que constituem a frota e a obtenção de rotas ótimas. Estes problemas variam no tipo de restrições e na estrutura dos custos envolvidos, de acordo com as especificidades das aplicações práticas do problema. Por exemplo, a existência de restrições ao limite da dimensão da frota de veículos e a duração das rotas; possibilidade de considerar a existência de mais de um depósito; a utilização de frotas heterogêneas; a

existência de janelas temporais e restrições de precedência associadas aos clientes/pacientes; a possibilidade de existência de penalizações ao considerar determinados troços na rota, entre outros.

Estas variantes serão enumeradas, de forma breve, na seguinte subsecção.

3.4.3 Variantes do VRP

Na grande maioria dos casos reais, a introdução de restrições adicionais complica o modelo e os algoritmos para a sua resolução. Diferentes variantes a este problema foram estudadas por vários autores, no que respeita à função objetivo, a restrições de vários tipos ou, ainda, à disponibilidade ou não de toda a informação no início do planeamento.

Problema de Rotas Ótimas com Limite de Capacidade

O CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*) é um dos problemas mais gerais no planeamento de rotas. Neste problema, uma frota de veículos homogénea serve um conjunto de clientes com uma extração conhecida antecipadamente, a partir de um único armazém. Existem algumas restrições, como no caso do VRP simples, tais como, cada rota começa e termina no armazém, cada cliente só pode ser visitado uma única vez, pelo que a extração não pode ser dividida por diferentes veículos. A restrição principal deste problema consiste no facto da soma da extração dos vários clientes atribuídos a cada rota não poder exercer a capacidade do veículo afetado para realizar esse percurso [21].

O objetivo deste problema consiste em minimizar os custos totais, desde o número de veículos da frota, como o tempo ou a distância de viagem das rotas, tendo em conta a capacidade de cada veículo [27].

Este problema tem diversas extensões apresentadas na literatura, por vezes basta acrescentar uma restrição e obtém-se um outro tipo de problema de planeamento de rotas. Na Figura 3.6, adaptada do livro de [28], podem-se verificar as ligações entre alguns problemas, explicados de seguida, que surgem a partir do CVRP.

Problema de Rotas Ótimas com *Backhaul*

Este problema inclui dois tipos de pontos: os de entrega onde os veículos entregam

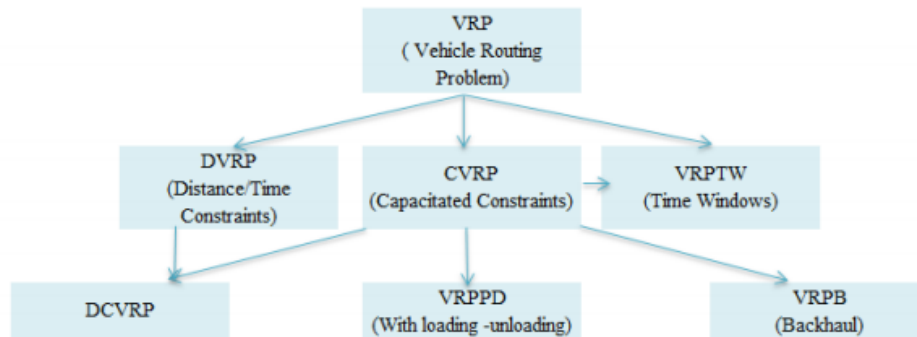


Figura 3.6: Variantes do VRP, adaptado de [28].

a quantidade pedida pelos clientes e os pontos de recolha que têm produtos a serem transportados de volta para o armazém. É necessário ter em conta que em cada rota todas as entregas têm de estar feitas antes de se proceder à recolha de qualquer produto, evitando a reorganização da carga do veículo [29].

O VRPB (*Vehicle Routing Problems with Backhaul*), permite reduzir os custos de operação, visto que se aproveita a capacidade do veículo, que anteriormente não era utilizada, quando este está a regressar ao armazém após ter realizado todas as entregas. As quantidades a serem entregues e recolhidas são fixas e conhecidas antecipadamente, as rotas começam e terminam no armazém, a frota de veículos é homogénea e é necessário ter em conta que a capacidade do veículo não pode ser ultrapassada. Então, o objetivo deste problema é determinar o conjunto de rotas que minimizam os custos e a distância total percorrida [30].

Problema de Rotas Ótimas com Janelas Temporais

Uma das extensões mais importantes do CVRP é o VRP com janelas temporais. O VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*), introduz uma restrição adicional, pois cada cliente é servido dentro de um determinado intervalo de tempo. Assim, quando um veículo chega a um cliente, só pode começar o serviço se o tempo a que chegou for maior ou igual ao do início da janela temporal. Se um veículo chegar antes do início da janela temporal, tem de aguardar. Por outro lado, depois de atender um cliente, a

hora a que o veículo vai sair tem de ser menor ou igual ao fim do intervalo de tempo dado pelo cliente [23].

Existem vários exemplos deste problema na vida real, como por exemplo as entregas do correio postal e autocarros escolares.

Problema de Rotas Ótimas com Pickups e Entregas

O VRPPD, (*Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries*), foi publicado pela primeira vez na literatura por [31].

O VRPPD é um tipo de problema de planeamento de rotas no qual os clientes requerem uma determinada quantidade a ser entregue e outra a ser recolhida [32]. Neste problema, a entrega e a recolha de produtos em cada cliente, processa-se apenas por um único veículo e num determinado instante, pelo que o cliente só pode ser visitado uma única vez. Deste modo, é necessário garantir que a quantidade de produtos que os clientes querem devolver não pode exceder a capacidade disponível do veículo. É igualmente considerado que as quantidades a entregar aos clientes saem de um centro de distribuição e as quantidades recolhidas são também levadas para o mesmo centro de distribuição, não havendo trocas de bens entre os clientes.

Sendo assim, o objetivo deste problema consiste em definir rotas para uma frota de veículos homogénea que minimizam a distância total percorrida, de modo a que todos os pedidos de entrega e recolha sejam todos satisfeitos, tendo em conta a capacidade disponível de cada veículo [33].

Concluindo, é relevante referir que entre as generalizações apresentadas anteriormente, o problema de rotas ótimas ainda engloba outras variantes.

Capítulo 4

Métodos de Otimização

Neste capítulo, serão descritos os vários procedimentos existentes para a obtenção de soluções de problemas.

O desenvolvimento de Dantzig do Método Simplex no final da década de 1940 marca o início da era moderna na Otimização [20]. Este método tornou possível aos economistas formular modelos grandes e analisá-los de forma sistemática e eficiente.

Hoje em dia, o Método Simplex continua a ser um dos métodos mais utilizados na Programação Linear. Desde 1950, gerações de trabalhadores em administração, economia, finanças e engenharia têm sido treinados no negócio de formular modelos lineares e resolvê-los com *software* baseado em Simplex. Muitas vezes, as situações que eles modelam são na verdade não-lineares, mas a Programação Linear é tão atraente por causa do estado avançado do *software*, que converge garantidamente para um mínimo global e cuja incerteza nos dados pode fazer com que modelos não-lineares complicados pareçam um exagero [20].

Já o problema em encontrar rotas ótimas para veículos de um ou vários depósitos para um conjunto de locais/clientes são conhecidos como Problemas de Roteamento de Veículos (VRPs) e têm muitas aplicações práticas, especialmente em logística de transporte e distribuição, existindo uma extensa literatura sobre estes problemas e suas variações, ver exemplos [28]. Os Problemas Cumulativos de Roteamento de Veículos, CVRP, foram definidos pela primeira vez em [25]. Nesse estudo, os autores usaram a distância como

um substituto para a função de custo. Desde então, o custo de viajar do nó i para o nó j , ou seja, c_{ij} , tem sido geralmente tomado como a distância entre esses nós.

De seguida, serão apresentadas as técnicas usadas, em cada método, para solucionar um problema de programação linear e de otimização de rotas (VRP) para a obtenção de soluções encontradas na literatura.

4.1 *Solver CPLEX*

Há diferentes abordagens para resolver um modelo linear envolvendo transporte. Um dos *softwares* conhecidos hoje é o *Solver CPLEX*, que encontra a solução ótima do modelo, atribuindo os melhores valores para cada variável do problema. No geral, o tempo para a resolução de problemas reais que pode ser formulado matematicamente como problema linear está a tornar-se cada dia menor, para problemas de qualquer tamanho, devido à utilização de *softwares* como *LINGO*, *CPLEX*, *Xpress* e outros [34].

No que é referente ao *Solver CPLEX*, este é uma implementação de alto desempenho para a programação linear, programação inteira mista, programação quadrática e problemas de programação quadrática com restrições. Por ser executável, este pode ler um arquivo de forma iterativa ou um arquivo com determinado padrão, permitindo diferentes maneiras de entrada dos dados. A entrada dos dados é feita pela modelação linear do problema clássico de transportes, sendo que cada *software* apresenta uma linguagem específica para tal [34].

Segundo a IBM, o *IBM ILOG CPLEX Optimizer*, é considerado um *solver* de programações matemáticas de alto desempenho, podendo resolver problemas reais com milhões de restrições e variáveis. O *Optimizer* tem um ambiente de modelação chamado *Concert*, que possui interface para programação nas linguagens C++, C# e Java, possuindo, também, uma interface de linguagem *Python* baseada na interface em C e, conectores para o *Microsoft Excel* e *Matlab*. O *CPLEX Optimizer* ainda pode ser conectado através de sistemas de modelação independentes, como AIMMS, AMPL, GAMS, MPL, OpenOpt, OptimJ e Tomlab, ou ser utilizado através da sua própria linguagem, a linguagem OPL

(*Optimization Programming Language*) [35].

A OPL é parte integrante do *IBM CPLEX Optimization Studio*[19]. Este pacote de ferramentas de otimização inclui:

- Um ambiente de desenvolvimento, o *CPLEX Studio IDE*, onde as várias ferramentas são integradas
- Um motor de otimização, o *IBM ILOG CPLEX*, que inclui algoritmos otimizados para problemas lineares, inteiros mistos e redes
- A linguagem OPL, para especificação dos modelos de programação matemática
- A linguagem OPL Script, para que o utilizador possa desenvolver código personalizado.

Assim sendo, a OPL é uma linguagem de natureza declarativa, porque permite que a tarefa do utilizador seja *declarar* os objetos requeridos para a modelação do problema a otimizar. Esses objetos serão constantes (dados), variáveis de decisão, funções objetivo, restrições, etc [19]. Ao contrário de uma linguagem de programação como o C++ ou o Java, em que é necessário declarar os objetos e o fluxo de informação, a OPL sabe o que fazer com os objetos depois destes estarem declarados. Por exemplo, ao declarar uma restrição do modelo, a OPL "sabe" em que contexto é utilizada uma restrição e quais as relações com os restantes objetos [19].

Para além da solução ótima, é possível aceder a outros resultados de otimização, tais como custos reduzidos, solução dual e folgas.

De forma a tornar a edição e depuração do modelo mais eficaz e rápida, sugere-se ao leitor a exploração das facilidades presentes no ambiente de desenvolvimento.

A obtenção deste *software* nas várias plataformas disponíveis é um processo simples e semelhante a qualquer aplicação de uso corrente.

4.2 Algoritmo Simplex

Para resolver um problema de programação linear, é necessário recorrer ao uso de algoritmos de resolução [19].

Portanto, um algoritmo consiste num conjunto de operações a aplicar ao problema, de forma sistemática, de modo a determinar a solução ótima do problema ou provar que não existe solução. Existem diversos algoritmos para resolver problemas de PL, em que a diferença está na eficácia computacional, pois todos eles determinam soluções ótimas. Quando se trata de problemas de pequena dimensão, a questão da eficácia não é muito significativa. Porém, para problemas onde a complexidade é maior, pode significar ter ou não capacidade de os resolver num tempo admissível [19].

Desta forma, o primeiro e mais popular algoritmo para resolver de forma sistemática problemas de PL é o Algoritmo Simplex.

O Algoritmo Simplex, criado pelo cientista George Dantzig, em 1947, viabiliza a solução de muitos problemas da Programação Linear [19]. É um algoritmo bastante popular e, ainda serve de base a muitos dos algoritmos usados nos dias de hoje, pois encontra uma boa aceitação em áreas onde diversas necessidades e restrições influenciam num valor que precisa ser aumentado ou diminuído ao máximo.

O Simplex permite que se encontre valores ideais em situações em que diversos aspetos precisam de ser respeitados. Perante um problema, são estabelecidas inequações que representam restrições para as variáveis. A partir daí, testa-se as possibilidades de maneira a otimizar o resultado da forma mais rápida possível. Ou seja, o Algoritmo Simplex começa por identificar uma solução básica admissível que corresponde a um vértice da região admissível. Posteriormente, o algoritmo percorre os vértices da região admissível, melhorando a função objetivo, até que não seja possível melhorar mais, estando então identificada a solução ótima [19].

A Figura 4.1 demonstra um percurso possível do Algoritmo Simplex. Ao verificarmos a mesma, o algoritmo identifica uma solução inicial num dos vértices da região admissível, colocando, por norma, todas as variáveis a zero.

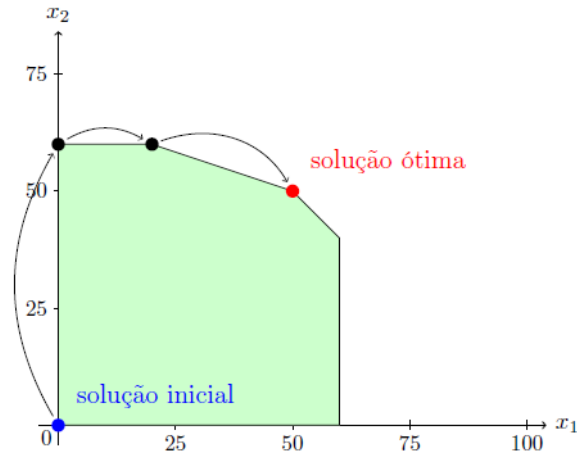


Figura 4.1: Representação gráfica da solução ótima, adaptado [19].

Posteriormente, o algoritmo vai alterando a solução para o vértice adjacente que melhore a função objetivo. O processo dá-se por terminado quando não for possível melhorar a solução, identificando então a solução ótima.

O primeiro algoritmo de programação linear em tempo polinomial, no pior caso, foi proposto por Leonid Khachiyan em 1979. Foi baseado no método do elipsóide da *non-linear optimization de Naum Shor*, que é uma generalização do método da elipsóide da otimização convexa de Arkadi Nemirovski, um dos ganhadores do John von Neumann Theory Prize 2003, e D. Yudin.

Entretanto, o funcionamento prático do algoritmo de Khachiyan é decepcionante, pois, geralmente, o método Simplex consegue ser mais eficiente. A grande importância é que encoraja a pesquisa dos métodos de pontos interiores, ao contrário do Algoritmo Simplex, que apenas evolui ao longo de pontos na fronteira da região admissível, métodos de pontos interiores podem se mover pelo interior da região admissível.

Em 1984, Karmarkar, em [36] propôs o seu método, que se tornou o primeiro algoritmo a apresentar um bom desempenho tanto na teoria como na prática: o seu pior caso de complexidade é polinomial e os problemas práticos de experiência mostram que ele é razoavelmente eficiente em comparação com o Algoritmo Simplex. Desde o método de Karmarkar, muitos outros métodos de pontos interiores têm sido propostos e analisados.

A opinião mais recente entre os estudiosos é que a eficiência das boas implementações

dos métodos baseados em Simplex e dos pontos interiores são similares para a aplicação de rotina na programação linear.

As soluções da programação linear estão em uso generalizado de otimização de diversos problemas na indústria, como a otimização de fluxo de transporte, que pode ser transformada em problemas de programação linear sem muitas dificuldades.

4.3 Algoritmo Branch and Bound

A Programação Inteira, pode ser linear ou não linear, onde as variáveis têm que ser inteiras.

Quando todas as variáveis de um problema possuírem valores inteiros, o modelo é denominado de problema de Programação Inteira Pura, caso contrário, é denominado de problema de Programação Inteira Mista [37].

Alguns algoritmos aplicados com sucesso na PI são:

- *Branch and Bound*;
- *Branch and Cut*;
- *Branch and Price*;
- Se a estrutura do problema permitir é também possível aplicar um algoritmo de geração de colunas.

O algoritmo Branch and Bound, serve para encontrar soluções ótimas para vários problemas de otimização, especialmente em otimização combinatória. Este algoritmo, consiste numa enumeração sistemática de todos os candidatos possíveis à solução, através da qual grandes subconjuntos de candidatos inúteis são descartados em massa utilizando os limites superior e inferior da quantidade otimizada. O termo *Branch* refere-se ao facto de que o método efetua partições no espaço das soluções e o termo *Bound* ressalta que a prova da otimalidade da solução utiliza-se de limites calculados ao longo da enumeração. O algoritmo depende da estimativa eficiente dos limites inferior e superior de regiões do

espaço de pesquisa. Se nenhum limite estiver disponível, o algoritmo se degenera para uma pesquisa exaustiva.

O método foi proposto pela primeira vez por [38] em 1960 para programação discreta e, tornou-se a ferramenta mais comumente usada para resolver problemas NP-difícil de otimização. O nome "Branch and Bound" ocorreu primeiramente no trabalho de [39] sobre o problema do caixeiro viajante.

A Figura 4.2, mostra de forma resumida o funcionamento do Método Branch and Bound.

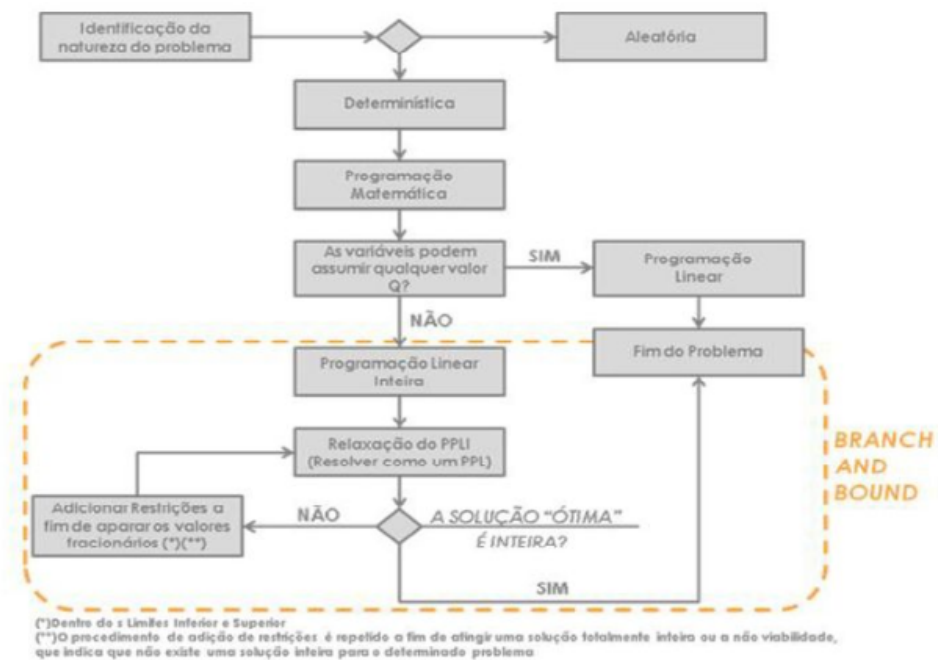


Figura 4.2: Diagrama de funcionamento do Método Branch and Bound [40].

4.4 Algoritmo Genético

O Algoritmo Genético (AG) é uma técnica de procura utilizada na ciência da computação para encontrar soluções aproximadas em problemas de otimização, que foi fundamentado principalmente pelo americano John Henry Holland, em 1975 [41]. Holland inspirou-se no

mecanismo de evolução das espécies, tendo como base os trabalhos de Darwin sobre a origem das espécies e a genética natural devida principalmente a Mendel, para fundamentar esta técnica. De entre as definições de AG encontradas na literatura, tem-se a de [42], que o define como métodos computacionais baseados nos mecanismos de evolução natural e na genética. Em AG, uma população de possíveis soluções para o problema em questão evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas biológicas, havendo uma tendência de que, na média, os indivíduos representem soluções cada vez melhores à medida que o processo evolutivo continua. O AG, é considerado eficiente na procura de soluções ótimas, ou quase ótimas numa grande variedade de problemas, pois não impõe muitas das limitações encontradas nos métodos de procura tradicionais. Além disso, em muitos casos onde outras estratégias de otimização falham na procura de uma solução, o AG converge [43].

Desta forma, um Algoritmo Genético pode ser representado segundo o fluxograma da Figura 4.3.

No AG, trabalha-se com um conjunto de indivíduos (população), em que cada elemento é candidato a ser a solução desejada. A função a ser otimizada representa o ambiente no qual a população inicial se insere. Espera-se então que, através dos mecanismos de evolução das espécies e da genética natural, os indivíduos mais aptos tenham maior probabilidade de se reproduzirem e que a cada nova geração estejam mais aptos ao ambiente. A próxima geração será uma evolução da anterior e para que isso ocorra, os mais aptos deverão possuir maior probabilidade de serem selecionados para dar origem à nova geração. Contudo, alguns não muito aptos também poderão ser selecionados. O mecanismo responsável que faz a escolha seletiva de indivíduos denomina-se **Seleção**. Após a seleção, o passo seguinte é a aplicação dos operadores genéticos que atuam sobre os genótipos produzindo novos indivíduos, também denominados de mecanismos de procura [43].

Dentro destes mecanismos, os mais utilizados são o **Cruzamento ou Recombinação** e a **Mutação**. Os operadores de cruzamento têm a finalidade de cruzar os indivíduos, dois a dois, chamados pais, e gerar descendentes através da combinação dos seus genes. Neste processo, pode ser que através de um único ciclo, onde é calculada a aptidão e

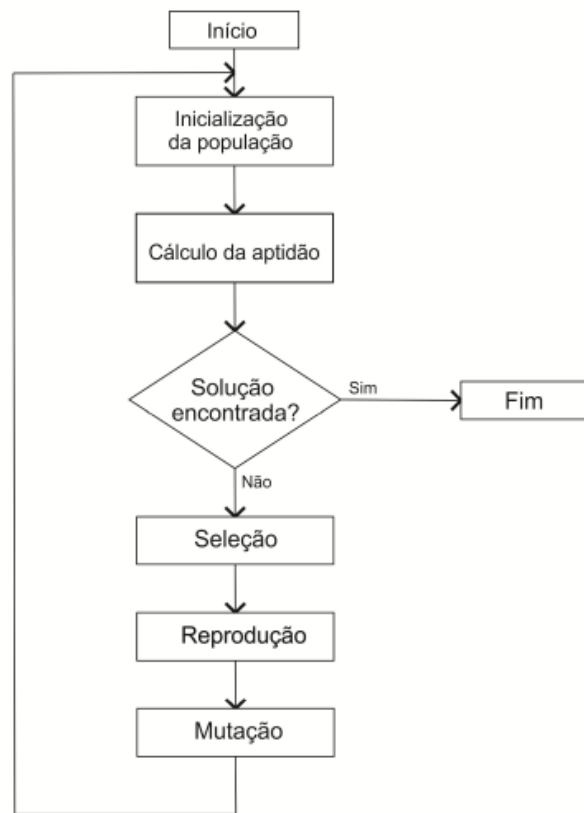


Figura 4.3: Fluxograma de um AG, adaptado [44].

cruzamento de indivíduos, a solução ótima do problema não seja encontrada. Também pode ser que ocorra a convergência para um mínimo local, isto é, a solução encontrada não é realmente a solução ótima do problema, o que leva que os manipulados de mutação também sejam inseridos no AG para evitar esta convergência.

Cada vez que um ciclo acontece, é dito que ocorreu uma geração. Todos os mecanismos para a operação de cruzamento e mutação dos indivíduos são feitos aleatoriamente. Escolhas quanto ao número de gerações, tipos de operadores de cruzamento e mutação e espaço de procura, por exemplo, podem ser determinados para melhorar o desempenho do algoritmo.

Apesar de nem sempre apresentarem uma solução ótima, os AGs encontram soluções a um nível aceitável num menor período de tempo. Estes algoritmos, sendo robustos e bastante adaptáveis, são uma técnica bastante estudada e utilizada nas mais diversas

áreas para resolver uma série de problemas, especialmente no campo da otimização [7].

Sintetizando, a seguir são enunciadas algumas características dos AGs e diferenças dos métodos tradicionais [41]:

- Não trabalham diretamente com o domínio do problema mas com representações dos seus elementos;
- Executam a procura num conjunto de candidatos (população), isto é, é um método populacional;
- Não têm conhecimento específico do problema, utilizando apenas a função objetivo;
- Utilizam basicamente regras probabilísticas.

Segundo [45], os Algoritmos Genéticos diferem dos algoritmos tradicionais de procura e otimização, basicamente em quatro aspectos:

- Opera numa população de pontos e não a partir de um ponto isolado;
- Opera num espaço de soluções codificadas e não no espaço de busca diretamente;
- Necessita somente de informação sobre o valor de uma função objetivo para cada membro da população e não requerem derivadas ou qualquer outro tipo de conhecimento;
- Usam transições probabilísticas e não regras determinísticas.

Estes algoritmos permitem abordar problemas complexos sobre os quais existem pouca informação, exceto na forma de avaliar uma boa solução.

Capítulo 5

Desenvolvimento do Modelo

O problema de encontrar rotas ótimas para veículos de um ou vários depósitos para um conjunto de locais/pacientes, neste caso, são conhecidos como Problemática do Planejamento de Rotas (VRPs) e têm muitas aplicações práticas, especialmente em logística de transporte e distribuição. Existe uma extensa literatura sobre estes problemas e as suas variações (por exemplo, [46], [47], [48], [49]).

O Problema de Roteamento de Veículos Capacitados (CVRP) é definido num conjunto $G = (V, A)$, onde $V = 0, 1, 2, \dots, n$ é o conjunto de nós, 0 é o depósito, ou seja, o nosso ponto de origem e os nós restantes são clientes que, neste caso, são os pacientes. O conjunto $A = (i, j) : i, j \in V, i \neq j$ é um conjunto de arco (ou aresta). Cada paciente, representado por $i \in V \setminus 0$ está associado a um objeto inteiro positivo designado por q_i e cada arco (i, j) é associado a um custo de viagem, c_{ij} (que pode ser simétrico, assimétrico, determinístico, aleatório, etc). Existem veículos com capacidade idêntica, Q . O CVRP consiste em determinar um conjunto de rotas de veículos m que satisfaçam as seguintes condições:

- Cada rota começa e termina no depósito (0), ou seja, no Centro de Saúde
- Cada cliente é visitado exatamente por uma rota;
- O percurso total de cada rota não excede a capacidade do veículo, Q

- O custo total de todas as rotas é minimizado.

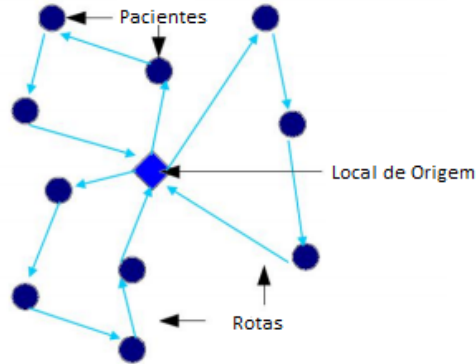


Figura 5.1: Esquema gráfico de uma solução de um Problema de Roteamento de Veículos (VRP), com um depósito (local de origem), adaptado de [21].

O CVRP foi estudado extensivamente na literatura (para publicações recentes, ver, por exemplo, [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56]). O CVRP foi definido pela primeira vez por [25], em 1959. Nesse estudo, os autores usaram a distância como um substituto para a função de custo. Desde então, o custo de viajar do nó i para o nó j , isto é, c_{ij} , tem sido geralmente definida como a distância entre esses nós.

O custo real de um veículo ao viajar entre dois nós depende de muitas variáveis: a carga do veículo, consumo de combustível por quilómetro, preço do combustível, tempo gasto ou distância percorrida até determinado nó, depreciação dos pneus e veículo, manutenção, salários dos motoristas, tempo gasto na visita a todos os clientes, distância total percorrida, etc. [53], [49], [57]. A maioria dos atributos é, na verdade, baseada na distância ou tempo e pode ser aproximada pela distância. No entanto, algumas variáveis não podem ser representadas pela distância entre os nós. Exemplos de tais variáveis são a carga do veículo, o consumo de combustível por quilómetro, o preço do combustível, o tempo gasto até um determinado nó. A maioria destes tipos de variáveis podem ser representadas numa função do fluxo no arco correspondente (carga ou peso do veículo, número de itens no veículo, a ordem no percurso do nó inicial e/ou final do arco e etc).

Assim, para alguns casos, além da distância percorrida, precisamos incluir o fluxo no arco relacionado como outro indicador do custo.

Neste estudo, é proposta uma função de custo que é definida como um produto da distância percorrida e do fluxo naquele arco.

No VRP, os veículos recolhem e/ou entregam as mercadorias de/para cada cliente presentes na rota. Assim, os fluxos nos arcos mudam ao longo do percurso, mostrando assim uma função degrau crescente no caso da recolha e uma função degrau decrescente no caso da entrega. Assim, os fluxos acumulam-se ou diminuem ao longo do percurso. Por esse motivo, chamamos um CVRP com uma função de custo baseada no fluxo como o Problema Cumulativo de Roteamento de Veículos, abreviado como CumVRP.

Na Secção 5.1, procede-se à identificação de problemas e formulações de programação inteira do CumVRP para casos de recolha e entrega. Na Secção 5.2, é mostrado que o problema proposto é uma generalização do Problema do Reparador Viajante (*Traveling Repairman Problem*), e, portanto, é relevante para o problema de latência mínima (*Minimum Latency Problem*) e as suas variações mencionadas na literatura. Uma das aplicações adicionais da função de custo baseada no fluxo é o Problema de Roteamento do Autocarro Escolar para minimizar a distância média [58].

5.1 Definição do Problema

Nesta secção, os detalhes do Problema de Roteamento de Veículos Cumulativos (CumVRP) são delineados e, por isso, são apresentadas formulações de programação linear inteira.

Desta forma, para considerar a problemática do planeamento de rotas de veículos definido numa rede $G = (V, A)$, onde $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ que é o conjunto de nós, em que 0 é o ponto de partida das viagens, e $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ que é o conjunto de arcos e componentes que são dados como:

- d_{ij} é a distância do nó i ao nó j

- q_i é o peso não-negativo (por exemplo, procura ou oferta) do nó i
- m é o número de veículos idênticos.
- Q_0 é o valor inicial do fluxo desde a origem até ao primeiro nó da rota no caso da recolha, ou o valor final do fluxo do último nó da rota até à origem no caso da entrega (por exemplo, a tara da carrinha no caso de transportar os enfermeiros).
- M representa a capacidade de fluxo dos arcos da rede (valor máximo do fluxo em qualquer arco da rede, por exemplo, a capacidade mais a tara das carrinhas no caso de transportar os enfermeiros).

Como variáveis de decisão, tem-se:

- $x_{ij} = 1$ se o arco (i, j) estiver na rota de algum veículo e zero no caso contrário;
- y_{ij} é o fluxo no arco (i, j) se o veículo for de i para j e zero no caso contrário.

Relativamente ao custo de atravessar um arco (i, j) , c_{ij} , é definido como produto da distância do arco (i, j) e o fluxo nesse arco.

Com os dados acima referidos, define-se o Problema Cumulativo de Roteamento de Veículos, CumVRP, como:

- Cada nó (cliente) é servido exatamente por um veículo
- Cada rota começa e termina no depósito
- Para cada visita, o fluxo nos arcos acumula tanto quanto o fornecimento do nó anterior no caso de recolha ou diminui tanto quanto a procura do nó anterior no caso de entrega
- O fluxo em qualquer arco de cada percurso não excede a capacidade de fluxo dos arcos

A definição do y_{ij} é o núcleo desta abordagem. O fluxo no primeiro arco de qualquer percurso deve ter um valor pré-determinado e, em seguida, deve sempre aumentar (ou diminuir) pelas unidades q_i logo após o nó i . No caso de recolha, a variável de fluxo mostra uma função crescente; para o caso de entrega, mostra uma função decrescente. Portanto, um modelo construído para o caso de recolha pode não ser adequado para o caso de entrega.

Observação 1: Quando a matriz da distância é simétrica, a rota ideal para o caso de entrega (ou recolha) é igual à rota ideal para o caso de recolha (ou entrega), percorrida na ordem inversa [59].

5.2 Formulação Matemática do Problema

Na presente secção é apresentada a modelação matemática para o problema de otimização definido pela problemática de escalonamento de enfermeiros, que efetuam visitas domiciliárias, a fim de realizar tratamentos necessários a pacientes pertencentes a uma determinada Unidade de Saúde. Para este problema, que se insere nos problemas de programação linear inteira, foi considerado o número de enfermeiros envolvidos nas equipas domiciliárias e os pacientes que solicitam este tipo de cuidados de saúde. Assim, considerando uma Unidade de Saúde, em Bragança, com uma equipa domiciliária que realiza cuidados ao domicílio a pacientes que requerem diferentes tipos de tratamentos, é necessário descrever todas as entidades envolvidas no problema.

Contudo, para o caso da distância simétrica, não é necessário diferenciar entre a recolha e a entrega, pois a solução de um determinará a solução do outro. Para o caso de uma matriz de distância assimétrica, devido à estrutura do problema, apresentamos modelos de decisão para os casos de recolha e entrega, separadamente. O modelo para o caso de recolha, segundo [59], é:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} y_{ij} \quad (5.1)$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{0i} = m \quad (5.2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0} = m \quad (5.3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1 \quad (5.4)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1 \quad (5.5)$$

$$\sum_{j=0e_j \neq i}^n y_{ji} - \sum_{j=0e_j \neq i}^n y_{ji} = q_i \quad (5.6)$$

$$y_{0i} = Q_0 x_{0i} \quad (5.7)$$

$$y_{ij} \leq (M - q_j) \star x_{ij}, (i, j) \in A \quad (5.8)$$

$$y_{ij} \geq (Q_0 + q_{ij}) \star x_{ij}, \forall (i, j) \in A \quad (5.9)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ ou } 1, (i, j) \in A \quad (5.10)$$

onde $Q_0 = 1$.

A função objetivo dada em 5.1 fornece a função de custo proposta. As restrições (5.2) e (5.3) asseguram que m veículos são usados. Se ao usar a desigualdade " \leq " em vez da igualdade (" $=$ ") nesta relação, esta função também é possível quando se impõe usar no máximo m veículos. As restrições (5.4) e (5.5) são as restrições de grau para cada nó, que juntamente com as restrições (5.2) e (5.3), são designadas como restrições de afetação da formulação. A restrição (5.6) é a conservação clássica das variáveis de fluxo de cada nó para executar uma função de degrau crescente. Essas restrições também proíbem qualquer sub-percurso ilegal. A restrição (5.7) inicializa o fluxo no primeiro arco de cada rota.

As restrições 5.8 fazem parte das restrições de capacidade e forçam y_{ij} a zero quando o arco (i, j) não está em nenhuma rota, por sua vez, a restrição 5.9 é responsável por produzir os limites inferiores para o fluxo em qualquer arco.

As restrições de integralidade são dadas em 5.10. Não é necessário utilizar as restrições

de não-negatividade para y_{ij} , uma vez que temos as restrições dadas em 5.9.

Às restrições 5.7, 5.8 e 5.9, vamos chamá-las de restrições limitantes da formulação. A validade dessas restrições limitantes é mostrada na **Proposição 1**, apresentada abaixo.

Proposição 1: No caso de recolha, as restrições dadas em (5.7), (5.8) e (5.9) são válidas para CumVRP.

Restrições semelhantes para o CVRP clássico podem ser vistas em [60], [53], [55], [56].

Devido à **Observação 1**, o problema de entrega para o caso simétrico não precisa ser discutido.

Para o caso assimétrico, o problema de entrega será modelado substituindo as restrições (5.6), (5.7), (5.8) e (5.9) com os seguintes dados abaixo mencionados.

$$\sum_{j=0, e_j \neq i}^n y_{ji} - \sum_{j=0, e_j \neq i}^n y_{ji} = q_i \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (5.11)$$

$$y_{i0} = Q_0 x_{0i} \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (5.12)$$

$$y_{ij} \leq (M - q_i) \star x_{ij}, \forall (i, j) \in A \quad (5.13)$$

$$y_{ij} \geq (Q_0 + q_j) \star x_{ij}, \forall (i, j) \in A \quad (5.14)$$

Assim, o modelo para o caso em estudo é:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} y_{ij} \quad (5.15)$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{0i} = m \quad (5.16)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1 \quad (5.17)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ ou } 1, (i, j) \in A \quad (5.18)$$

$$\sum_{j=0, e_j \neq i}^n y_{ji} - \sum_{j=0, e_j \neq i}^n y_{ji} = q_i \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (5.19)$$

$$y_{0i} = Q_0 x_{0i} \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (5.20)$$

$$y_{ij} \leq (M - q_i) \star x_{ij}, \forall (i, j) \in A \quad (5.21)$$

$$y_{ij} \geq (Q_0 + q_j) \star x_{ij}, \forall (i, j) \in A \quad (5.22)$$

onde $q_0 = 1$.

Ambos os modelos propostos têm $n^2 + n$ variáveis binárias, $n^2 + n$ variáveis contínuas e $2n^2 + 6n + 2$ restrições, isto é, as formulações propostas contêm $O(n^2)$ variáveis binárias e $O(n^2)$ restrições [59].

5.2.1 Problema de Roteamento do Autocarro Escolar

Como referido anteriormente, o Problema de Roteamento do Autocarro Escolar é uma das aplicações adicionais da função de custo baseada no fluxo e é o exemplo que mais se adequa ao problema de escalonamento de visitas domiciliárias a um Centro de Saúde. Por isso, o Roteamento do Autocarro Escolar é uma aplicação primária do VRP; a questão é como transportar os alunos de e para a escola de uma forma ideal, [46], [61]. As crianças afetadas às respectivas paragens de autocarro e uma sequência de paragens individuais formará a rota do autocarro.

De manhã, os autocarros transportam os alunos das paragens de autocarro para a escola; o procedimento é revertido à tarde [46],[62]. Cada Problema de Roteamento de Autocarro Escolar tem diferentes objetivos e/ou restrições. A capacidade do autocarro, o número máximo de paragens por autocarro, o comprimento máximo (ou duração) de cada percurso e o tempo de deslocamentos dos alunos são os requisitos adicionais mais frequentemente encontrados. Existem diferentes objetivos, como: minimizar o custo de transporte, minimizar o tempo de transporte, minimizar o tempo que o aluno passa no autocarro, minimizar o número de autocarros necessários, minimizar o tempo de viagem da frota, e equilibrar as cargas dos autocarros e os comprimentos da rota [61], [63].

Para um Problema de Roteamento do Autocarro Escolar, supõe-se que se queira avaliar rotas alternativas em relação à distância média percorrida (ou tempo médio gasto) por

aluno [59].

Devido à natureza assimétrica da circulação rodoviária em diferentes momentos do dia, os casos de recolha e entrega nos problemas de Roteamento do Autocarro Escolar devem ser tratados separadamente. Define-se $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ como um conjunto de nós (vértices), onde 0 é a escola e, os nós restantes são as paragens dos autocarros. Deixando o conjunto A , as distâncias entre dois nós d_{ij} e as variáveis binárias x_{ij} são definidas como na Secção 5.1. Definindo y_{ij} como o número de alunos no autocarro enquanto estiver a viajar no arco (i, j) , quando o autocarro passar na paragem de autocarro i para a paragem de autocarro j , e é zero caso contrário. Assumindo que os autocarros começam o percurso pela manhã desde o parque de estacionamento e terminam na escola e, na parte da tarde os percursos começam na escola e terminam no parque de estacionamento. De forma a simplificar, assume-se que o parque de estacionamento é na escola. Ao calcular a distância média percorrida por estudante, a distância (ou tempo) do local de estacionamento ao primeiro ponto de recolha, no caso de recolha e a distância da última paragem até ao local de estacionamento, no caso de entrega, não devem ser considerados; portanto Q_0 é igual a zero em ambos os casos [59].

Considere um problema de autocarro escolar onde Cap denota a capacidade do autocarro e q_i denota o número de estudantes que embarcam ou desembarcam na paragem i . Então, qualquer Problema de Roteamento do Autocarro Escolar que minimize a distância média é equivalente a CumVRP, onde $Q_0 = 0$ e $M = Cap$. Com estes parâmetros, temos a formulação para percursos matinais (recolha) e a formulação para percursos vespertinos (entrega) [59].

Se houver outras restrições além da capacidade, essas restrições podem ser facilmente incorporadas ao modelo. Se o objetivo é definido como minimizar o tempo médio gasto por aluno, é necessário apenas medir o tempo necessário para viajar entre os nós do conjunto de arcos A e d_{ij} como parâmetros de tempo [59].

Capítulo 6

Testes preliminares

Neste capítulo, é apresentada a modelação matemática para o problema de otimização definido pela problemática de escalonamento de enfermeiros, que efetuam visitas domiciliárias, a fim de realizar tratamentos necessários a pacientes pertencentes na Unidade de Saúde. Como referido anteriormente, para este problema foi considerado o número de enfermeiros envolvidos nas equipas domiciliárias e os pacientes que solicitam este tipo de cuidados de saúde.

6.1 Definição dos testes preliminares

Na presente secção, serão representados os diferentes testes que foram estudados e analisados de maneira a testar o modelo desenvolvido, levando às situações possíveis reais das Unidades de Saúde. Foram realizados três testes distintos, com diferentes números de pacientes necessitando também de diferentes tratamentos, diferentes localidades de domicílio e, por último, diferentes números de enfermeiros. A duração dos tratamentos é diferente nos respetivos testes, bem como a duração das deslocações a partir do centro de origem (Unidade de Saúde) até aos locais de domicílio dos pacientes. Porém, existem certas restrições que são comuns nos diferentes testes, como por exemplo, cada enfermeiro visita apenas um só paciente de cada vez (considerando que existe um enfermeiro que realiza sempre todos os tratamentos do paciente).

É importante salientar, que através da ligação entre o *software* CPLEX com conectores como é o caso da ferramenta do Excel, permitiu obter as respetivas soluções para os três testes preliminares, apresentadas na subsecção seguinte.

Os testes preliminares em análise para este trabalho foram definidos em Alves et al. [7].

6.1.1 Teste preliminar 1

Neste primeiro teste preliminar, uma Unidade de Saúde de Bragança possui dois enfermeiros destacados para as visitas domiciliárias e quatro tratamentos distintos, com diferentes tempos médios de duração, como está descrito na Tabela 6.1.

O Enfermeiro 1 poderá realizar os tratamentos 1, 2 e 3. O Enfermeiro 2 poderá realizar os tratamentos 1, 2 e 4.

Tabela 6.1: Tempo médio dos tratamentos que cada enfermeiro realiza no teste preliminar 1, em minutos.

	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4
Enfermeiro 1	20	20	20	
Enfermeiro 2	20	20		30

Por sua vez, existem cinco pacientes que necessitam das visitas domiciliárias. Em relação aos tratamentos prestados aos pacientes, estes poderão variar de paciente para paciente. A informação referente aos tratamentos que cada paciente necessita, está descrita na Tabela 6.2.

Neste caso em concreto, o Paciente 1 necessita do tratamento 1, o Paciente 2 requer os tratamentos 1 e 3, o Paciente 3 requer os tratamentos 1 e 2, o Paciente 4 requer o tratamento 4 e, por fim, o Paciente 5 requer o tratamento 1, tal como é indicado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Tratamentos necessários para cada paciente no teste preliminar 1.

	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4
Paciente 1	x			
Paciente 2	x		x	
Paciente 3	x	x		
Paciente 4				x
Paciente 5	x			

Por sua vez, os cinco pacientes são oriundos de três localidades distintas. Assim sendo, cada enfermeiro necessita de se deslocar do centro de origem (Unidade de Saúde) até à residência dos pacientes. Para este teste, a Tabela 6.3, descreve as localidades referentes aos pacientes para visitas domiciliárias. Para este teste preliminar, o Paciente 1 reside em Bragança, os Pacientes 2 e 5 residem em Vinhais e, por último, os Pacientes 3 e 4 residem em Mirandela. A Tabela seguinte descreve o que foi descrito previamente

Tabela 6.3: Localidades dos Pacientes para visitas domiciliárias no teste preliminar 1.

	Bragança	Vinhais	Mirandela
Paciente 1	x		
Paciente 2		x	
Paciente 3			x
Paciente 4			x
Paciente 5		x	

Para finalizar e aproveitando a informação fornecida anteriormente, é importante referir que as localidades dos pacientes têm diferentes distâncias e tempos de viagens entre si. Assim, é necessário definir a matriz de tempo (em minutos) entre os locais estabelecidos e o ponto de origem, para assim realizar e definir o escalonamento/planeamento das visitas domiciliárias por parte dos enfermeiros, otimizando o tempo total despendido. Para tal, a Tabela 6.4 descreve os tempos necessários das viagens entre as diferentes localidades. Os dados relativos à obtenção dos tempos entre os locais, proveio do mapeamento da região em questão e ainda com a ajuda do serviço de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite da Terra, fornecido de forma gratuita na Internet pela *Google*, segundo [7].

Tabela 6.4: Informação relativa aos tempos de viagem entre as diferentes localidades no teste preliminar 1, em minutos.

	Bragança	Vinhais	Mirandela
Bragança	15	40	45
Vinhais	40	15	50
Mirandela	45	50	15

É de salientar, ainda, que se considerou o tempo fixo de 15 minutos para a viagem entre dois pontos dentro da mesma localidade.

6.1.2 Teste preliminar 2

Neste segundo teste preliminar, a Unidade de Saúde de Bragança possui o mesmo número de enfermeiros do teste preliminar 1, porém, desta vez, serão realizados seis tratamentos distintos, com diferentes tempos médios de duração, nas visitas domiciliárias, como descrito na 6.5.

A Tabela 6.5 descreve o tempo dos tratamentos que cada enfermeiro realiza para o teste preliminar 2.

Tabela 6.5: Tempo médio dos tratamentos que cada enfermeiro realiza no teste preliminar 2, em minutos.

	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4	Trat.5	Trat.6
Enfermeiro 1	10	20	20	20		
Enfermeiro 2	10	20			30	20

Ao aumentar o número de tratamentos, também aumenta o número de pacientes, de acordo com a Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Tratamentos necessários para cada paciente no teste preliminar 2.

	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4	Trat.5	Trat.6
Paciente 1	x	x				
Paciente 2	x		x			
Paciente 3					x	x
Paciente 4			x	x		
Paciente 5			x			
Paciente 6	x				x	
Paciente 7	x	x				
Paciente 8						x

As localidades dos pacientes são as mesmas do teste preliminar anterior, sendo reescritas na Tabela 6.7. A Tabela 6.8 descreve os tempos de viagem entre essas mesmas localidades.

Tabela 6.7: Localidades dos pacientes para as visitas domiciliárias, no teste preliminar 2.

	Bragança	Vinhais	Mirandela
Paciente 1	x		
Paciente 2		x	
Paciente 3			x
Paciente 4		x	
Paciente 5	x		
Paciente 6			x
Paciente 7		x	
Paciente 8			x

Na seguinte Tabela descreve, mais uma vez, os tempos das viagens entre as diferentes localidades.

Tabela 6.8: Informação relativa aos tempos de viagem entre as diferentes localidades no teste preliminar 2, em minutos.

	Bragança	Vinhais	Mirandela
Bragança	15	40	45
Vinhais	40	15	50
Mirandela	45	50	15

6.1.3 Teste preliminar 3

Neste terceiro teste preliminar, a Unidade de Saúde de Bragança possui agora três enfermeiros destacados para realizarem quatro tratamentos distintos, com diferentes tempos médios de duração, nas visitas domiciliárias, como descrito na Tabela 6.9.

Tabela 6.9: Tempo médio dos tratamentos que cada enfermeiro realiza no teste preliminar 3, em minutos.

	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4
Enfermeiro 1	20	20		
Enfermeiro 2	20		20	
Enfermeiro 3	20			30

Neste teste preliminar, são considerados oito pacientes que necessitam de visitas domiciliárias, tal como acontecia no teste preliminar 2. A informação referente aos tratamentos que cada paciente necessita, está descrita na Tabela seguinte.

Tabela 6.10: Tratamentos necessários para cada paciente no teste preliminar 3.

	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4
Paciente 1	x			
Paciente 2	x	x		
Paciente 3	x		x	
Paciente 4		x		
Paciente 5			x	
Paciente 6	x			x
Paciente 7	x			
Paciente 8				x

Neste último teste preliminar, e mais uma vez à semelhança com os testes preliminares anteriores, os pacientes são oriundos de localidades distintas, neste caso são quatro as localidades. A Tabela 6.11 descreve as respetivas localidades.

Tabela 6.11: Localidades dos Pacientes para as visitas domiciliárias no teste preliminar 3.

	Bragança	Vinhais	Mirandela	Vimioso
Paciente 1	x			
Paciente 2	x			
Paciente 3		x		
Paciente 4		x		
Paciente 5		x		
Paciente 6			x	
Paciente 7			x	
Paciente 8				x

A Tabela 6.12 descreve os tempos necessários das viagens entre as diferentes localidades.

Tabela 6.12: Informação relativa aos tempos de viagem entre as diferentes localidades no teste preliminar 3, em minutos.

	Bragança	Vinhais	Mirandela	Vimioso
Bragança	15	40	45	50
Vinhais	40	15	60	65
Mirandela	45	60	15	65
Vimioso	50	65	65	15

Embora estes testes preliminares sejam problemas pequenos e simples de resolver computacionalmente, muitas vezes nas Unidades de Saúde e Hospitais não se consegue otimizar. Contudo, se se aumentar a complexidade do problema, torna-se também mais difícil de gerir e de escalonar o tempo gasto de forma mais rentável.

Por isso, com a Validação do Modelo, apresentada na secção seguinte, espera-se obter pelo modelo matemático desenvolvido e apresentado anteriormente, os resultados que permitem visualizar o escalonamento/horário de cada um dos enfermeiros em cada teste preliminar abordado.

6.2 Validação do Modelo

Após a definição e representação dos testes preliminares, o objetivo prende-se agora com a criação e organização dos escalonamentos dos enfermeiros envolvidos em cada teste preliminar, de forma a minimizar o tempo total despendido nas visitas domiciliárias e, desta forma, fazer a comparação dos tempos despendidos com as metodologias apresentadas em anos anteriores.

Neste trabalho, foi realizada apenas uma única abordagem, isto é, uma única modelação matemática para resolver o problema de escalonamento apresentado anteriormente. Deste modo, o mesmo modelo matemático foi aplicado aos três testes preliminares, acima referidos.

É de referir que os resultados numéricos foram obtidos com recurso ao *software* IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, utilizando um processador Intel (R) Core (TM) i3 2.0GHz CPU com 4,0 GB de memória RAM.

6.2.1 Discussão de resultados - Teste preliminar 1

Com a formulação matemática e a definição das variáveis gerais do problema em estudo, apresentadas anteriormente, foi criada a modelação matemática, apresentada no Capítulo anterior.

É possível considerar uma matriz de compatibilidade entre os pacientes e enfermeiros, Tabela 6.13, onde o enfermeiro e vai realizar o tratamento i de cada paciente, ou seja, a solução obtida apresenta os enfermeiros que visitam os locais onde se encontram os pacientes, até ao número total de tratamentos de cada um.

Para ilustrar esta estratégia considera-se num determinado teste preliminar, cinco pacientes que necessitavam de cuidados domiciliários. O paciente 1 necessitava de um tratamento, o paciente 2 necessitava de dois tratamentos, o paciente 3 necessitava de dois tratamentos, o paciente 4 necessitava de um tratamento e, por fim, o paciente 5 necessitava de um tratamento, como remete o teste preliminar 1. Para isso, uma Unidade de Saúde, possui dois enfermeiros destacados e capazes de efetuarem os tratamentos necessários para cada um dos pacientes.

Depois da matriz das distâncias calculada em cada nó, fazendo corresponder o número de pacientes à sua respetiva localização, definindo assim a rota percorrida para a realização das visitas domiciliárias para este teste preliminar, tem-se que definir o tempo gasto para realização da rota obtida. Este tempo resulta da soma entre o tempo gasto em viagens e o tempo gasto nos tratamentos aplicados aos respetivos pacientes. Na Tabela 6.13, mostra

o tempo gasto no total, em minutos, para a realização da rota para este teste preliminar.

Tabela 6.13: Tempo gasto no total da rota obtida, em minutos, no teste preliminar 1.

De:	Para:	Tempo gasto em viagens	Tempo gasto nos tratamentos	Tempo gasto no total
0	1	15	20	35
1	2	40	40	80
2	5	15	20	35
5	3	50	40	90
3	4	15	30	35
4	0	45	0	45
				330

De acordo com a Tabela 6.13, temos a seguinte rota:

PontodeOrigem → *Paciente1* → *Paciente2* → *Paciente5* → *Paciente3* → *Paciente4*
→ *PontodeOrigem*

Iniciando o percurso da rota, constatamos que o percurso percorrido entre o Paciente 5 e o Paciente 3 é o que apresenta maior tempo em viagem e maior tempo na aplicação dos tratamentos, pois como acontece com o Paciente 2, o Paciente 3 necessita de dois tipos de tratamento e, daí maior tempo gasto nos mesmos. Conseqüentemente, o percurso percorrido entre o Paciente 5 e o Paciente 3 é o que apresenta um maior tempo gasto no total. Como foi abordado anteriormente, os percursos percorridos entre o ponto de origem e o Paciente 1 e os Pacientes 3 e 4, são os que apresentam menor tempo gasto em viagem, com um tempo de 15 minutos, por se encontrarem dentro da mesma localização. Para realizar esta rota, tendo em conta os tempos gastos entre as viagens e os tempos gastos nos tratamentos aplicados a cada paciente, são necessários 330 minutos, como se pode observar na Tabela 6.13.

6.2.2 Discussão de resultados - Teste preliminar 2

Para esta situação considera-se num determinado teste preliminar, oito pacientes que necessitavam de cuidados domiciliários. Para isso, uma Unidade de Saúde, possui dois enfermeiros destacados e capazes de efetuarem os tratamentos necessários para cada um dos pacientes.

Depois da matriz das distâncias calculada em cada nó, fazendo corresponder o número

de pacientes à sua respectiva localização, definindo assim a rota percorrida para a realização das visitas domiciliares para este teste preliminar, tem-se que definir o tempo gasto para realização da rota obtida. Este tempo resulta da soma entre o tempo gasto em viagens e o tempo gasto nos tratamentos aplicados aos respectivos pacientes. Na Tabela 6.14, mostra o tempo gasto no total, em minutos, para a realização da rota para este teste preliminar.

Tabela 6.14: Tempo gasto no total da rota obtida, em minutos, no teste preliminar 2.

De:	Para:	Tempo gasto em viagens	Tempo gasto nos tratamentos	Tempo gasto no total
0	5	15	20	35
5	1	15	30	45
1	2	40	30	70
2	4	15	40	55
4	7	15	30	45
7	3	50	50	100
3	6	15	40	55
6	8	15	20	35
8	0	45	0	45
				485

De acordo com a Tabela 6.14, temos a seguinte rota:

PontodeOrigem → *Paciente5* → *Paciente1* → *Paciente2* → *Paciente4* → *Paciente7*
→ *Paciente3* → *Paciente6* → *Paciente8* → *PontodeOrigem*

Iniciando o percurso da rota, constatamos que o percurso percorrido entre o Paciente 7 e o Paciente 3 é o que apresenta maior tempo em viagem e maior tempo na aplicação dos tratamentos, pois o Paciente 3 necessita de dois tipos de tratamento e, daí maior tempo gasto nos mesmos. Conseqüentemente, o percurso percorrido entre o Paciente 7 e o Paciente 3 é o que apresenta um maior tempo gasto no total. Como foi abordado anteriormente, os percursos percorridos entre o ponto de origem e o Paciente 5, os Pacientes 5 e 1, os Pacientes 2 e 4, os Pacientes 4 e 7 e os Pacientes 3 e 6 e, finalmente, o Paciente 6 e o ponto de origem, são os que apresentam menor tempo gasto em viagem, com um tempo de 15 minutos, por se encontrarem dentro da mesma localização. Para realizar esta rota, tendo em conta os tempos gastos entre as viagens e os tempos gastos nos tratamentos aplicados a cada paciente, são necessários 485 minutos, como se pode observar na Tabela 6.14.

6.2.3 Discussão de resultados - Teste preliminar 3

Para esta situação considera-se num determinado teste preliminar, oito pacientes que necessitavam de cuidados domiciliários. Para isso, uma Unidade de Saúde, possui três enfermeiros destacados e capazes de efetuarem os tratamentos necessários para cada um dos pacientes.

Depois da matriz das distâncias calculada em cada nó, fazendo corresponder o número de pacientes à sua respetiva localização, definindo assim a rota percorrida para a realização das visitas domiciliárias para este teste preliminar, tem-se que definir o tempo gasto para realização da rota obtida. Este tempo resulta da soma entre o tempo gasto em viagens e o tempo gasto nos tratamentos aplicados aos respetivos pacientes. Na Tabela 6.15, mostra o tempo gasto no total, em minutos, para a realização da rota para este teste preliminar.

Tabela 6.15: Tempo gasto no total da rota obtida, em minutos, no teste preliminar 3.

De:	Para:	Tempo gasto em viagens	Tempo gasto nos tratamentos	Tempo gasto no total
0	2	15	40	55
2	1	15	20	35
1	5	40	20	60
5	3	15	40	55
3	4	15	20	35
4	6	60	50	110
6	7	15	20	35
7	8	65	30	95
8	0	50	0	50
				530

De acordo com a Tabela 6.15, temos a seguinte rota:

PontodeOrigem → *Paciente2* → *Paciente1* → *Paciente5* → *Paciente3* → *Paciente4* → *Paciente6* → *Paciente7* → *Paciente8* → *PontodeOrigem*

Iniciando o percurso da rota, constatamos que o percurso percorrido entre o Paciente 4 e o Paciente 6 é o que apresenta maior tempo em viagem e maior tempo na aplicação dos tratamentos, pois o Paciente 6 necessita de dois tipos de tratamento e, daí maior tempo gasto nos mesmos. Consequentemente, o percurso percorrido entre o Paciente 4 e o Paciente 6 é o que apresenta um maior tempo gasto no total. Como foi abordado anteriormente, os percursos percorridos entre o ponto de origem e o Paciente 2, os Pacientes 2 e 1, os Pacientes 5 e 3, os Pacientes 3 e 4 e os Pacientes 6 e 7, são os que apresentam

menor tempo gasto em viagem, com um tempo de 15 minutos, por se encontrarem dentro da mesma localização. Para realizar esta rota, tendo em conta os tempos gastos entre as viagens e os tempos gastos nos tratamentos aplicados a cada paciente, são necessários 530 minutos, como se pode observar na Tabela 6.15.

Posto isto, para que seja possível retirar uma conclusão de qual a melhor implementação do algoritmo a utilizar, em comparação com o AG, é necessário verificar os tempos médios de execução até se obter a solução encontrada. Na Tabela 6.16, apresenta a comparação dos resultados obtidos para os três testes preliminares, mostrando os tempos necessários até se obter as soluções.

Tabela 6.16: Tempo de execução necessário para obter a solução nos três testes preliminares, em segundos.

	AG2	Solver CPLEX
Caso de estudo 1	28	0.55
Caso de estudo 2	20	0.66
Caso de estudo 3	22.2	0.33

De acordo com a Tabela acima representada, pode-se concluir que o método para encontrar a solução para o problema de otimização de forma mais rápida é o Solver CPLEX, pois verifica-se que apresenta menores tempos de execução, em segundos. Apesar de o AG demorar pouco mais de 20 segundos a apresentar uma solução, com o Solver CPLEX este apresenta resultados com menor tempo de execução, apresentando uma solução já nos milésimos de segundo.

Também é necessário referir qual a solução ótima referente aos tempos despendidos nas visitas domiciliárias para os três testes preliminares e, comparar, desta forma, as soluções ótimas obtidas para os tempos despendidos nas visitas domiciliárias, por cada um dos enfermeiros, no caso do AG e a soma dos tempos despendidos nas visitas domiciliárias de todos os enfermeiros no caso do Solver CPLEX. Então, na Tabela 6.17 e na Tabela 6.18 serão apresentadas as respetivas soluções ótimas para os tempos despendidos nas visitas domiciliárias pelos enfermeiros das duas abordagens, para os três testes preliminares.

Ao analisar a Tabela 6.17, pode-se concluir que com o AG há alguma discrepância entre os tempos despendidos entre cada enfermeiro, de modo a que para cada teste preliminar, o

Tabela 6.17: Número de soluções ótimas para os tempos despendidos nas visitas domiciliárias (em minutos) por cada enfermeiro no AG, para os três testes preliminares.

	Enfermeiro 1	Enfermeiro 2	Enfermeiro 3
Caso de estudo 1	190	175	-
Caso de estudo 2	245	275	-
Caso de estudo 3	190	240	240

Tabela 6.18: Número de soluções ótimas para os tempos despendidos nas visitas domiciliárias por todos os enfermeiros no Solver CPLEX, para os três testes preliminares.

	Solver CPLEX
Caso de estudo 1	2440
Caso de estudo 2	3125
Caso de estudo 3	3015

enfermeiro que apresenta um maior tempo despendido para as visitas domiciliárias seja o Enfermeiro 2 e o Enfermeiro 3, no teste preliminar 3, particularmente. Já na Tabela 6.18, como apresenta os tempos despendidos nas visitas domiciliárias de todos os enfermeiros, isto é, a soma dos tempos despendidos por cada enfermeiro nas visitas domiciliárias, o teste preliminar que apresenta, assim, um maior tempo despendido nas visitas domiciliárias é o teste preliminar 2.

Relativamente ao Solver CPLEX, para além da solução obtida para os tempos despendidos nas visitas domiciliárias de todos os enfermeiros, também é importante referir qual o número de variáveis, restrições e iterações necessárias para que a execução do programa ocorresse, bem como, o número de soluções inteiras geradas e taxa de sucesso de aproximação da solução ótima (*GAP*). Assim, na Tabela 6.19 estão descritos os resultados computacionais falados para os três testes preliminares.

Tabela 6.19: Resultados Computacionais para os três testes preliminares.

	Nº de Variáveis	Nº de Restrições	Nº de Iterações	Nº de Soluções Inteiras Geradas	GAP (%)
Caso de estudo 1	72	94	122	3	0.00 %
Caso de estudo 2	162	196	441	4	0.00 %
Caso de estudo 3	162	196	368	5	0.00 %

Da Tabela representada acima, podemos constatar que o *GAP* resultante após a aplicação do modelo aumenta com a complexidade do problema, ou seja, com o número de variáveis e restrições, como se verifica pelos testes preliminares 1 que apresenta um número pequeno de variáveis, restrições e iterações em relação ao teste preliminar 2, que apresenta

estes valores mais elevados. Então, à medida que o *GAP* se aproxima da solução ótima, este vai diminuindo até chegar aos 0 %, verificando que a resolução seja muito simples e rápida. Quanto ao número de soluções inteiras geradas, o teste preliminar que apresenta um maior número de soluções é o teste preliminar 3, com 5 soluções inteiras geradas.

Resumindo nos três testes preliminares apresentados e discutidos anteriormente, verifica-se que com o Solver CPLEX a nível de tempo de execução é o mais rápido em apresentar a solução ótima em relação ao AG, sendo o tempo despendido nos milésimos de segundo. Particularizando o teste preliminar 2, por ser o teste que apresenta um maior tempo de execução pelo Solver CPLEX, em relação aos outros dois testes preliminares, é constituído por mais *clusters*, o que implica uma maior quantidade de variáveis e restrições e, por isso, maior complexidade do problema. Relativamente à melhor solução ótima obtida para os tempos despendidos nas visitas domiciliárias pelos enfermeiros, o AG é o que apresenta uma melhor solução ótima para os três testes preliminares, por apresentar baixos tempos despendidos nas visitas domiciliárias por cada enfermeiro. Também se pode dizer que nesta abordagem, a rota obtida para cada teste preliminar, apresenta um tempo gasto no total bastante dispendioso, o que implica aumento dos custos nas viagens e mais carga horária pelos enfermeiros. Tanto numa abordagem como na outra, apresentam resultados viáveis e aplicáveis para os testes abordados, embora para problemas de pequena dimensão, a questão de eficácia do Solver CPLEX não é muito significativa, como se pode verificar pelos tempos gastos no total das rotas de cada teste preliminar abordado.

Capítulo 7

Testes Computacionais

No capítulo anterior foi apresentado o modelo matemático que melhor representa o problema em estudo, atendendo aos resultados obtidos para os três testes preliminares abordados. Como a nível de tempos de execução é rápido e como para problemas de grande complexidade apresenta uma eficácia bastante significativa, é o que melhor representa o problema em estudo. Portanto, pretende-se, agora, aplicar este mesmo modelo a uma semana de visitas domiciliárias de uma Unidade de Saúde de Bragança - a Unidade de Saúde de Santa Maria.

Como referido no Capítulo 5, o desenvolvimento de um modelo de otimização de um problema real, para além das etapas anteriormente descritas, requer, ainda, a concretização de mais duas, como mostra a Figura 7.1.



Figura 7.1: Abordagem final à definição de um modelo de otimização.

Desta forma, pretende-se fazer o escalonamento dos enfermeiros da Unidade de Saúde de Santa Maria, afetos às visitas domiciliárias, no período de uma semana (cinco dias), neste caso.

Recorrendo aos dados fornecidos pela Unidade de Saúde no dia 18 de abril de 2016, respectivos a um dia de visitas domiciliárias, adaptou-se este conjunto de dados para cinco dias de visitas domiciliárias, alterando-se, de forma aleatória, o número de enfermeiros e o número de pacientes, para que o estudo ocorresse, então, no período de uma semana. Os dados apresentados para assim prosseguirmos com o estudo deste teste foram retirados de [7].

7.1 Recolha de dados e sua caracterização

Para que o problema em estudo seja resolvido e, atendendo às características do mesmo, interessa caracterizar os dados fornecidos, enfatizando, em particular, os aspetos importantes para a resolução do problema de rotas. Isto é, o número e caracterização de enfermeiros que efetuam as deslocações ao domicílio, quais os tipos de serviços prestados aos pacientes, o tempo médio de duração de cada tratamento e, ainda, o número total de pacientes que recebem tratamento ao domicílio. Além disto, é importante saber os locais de deslocação, bem como, o planeamento que foi utilizado para cinco dias de visitas domiciliárias, para comparação com a solução a ser obtida.

7.1.1 Tipos de serviços prestados ao domicílio e o seu tempo médio de duração

Como referido no Capítulo 6, os serviços prestados ao domicílio pelas equipas de saúde integram cuidados de enfermagem, desde natureza preventiva, curativa, reabilitadora e ações paliativas. Estes tipos de serviços incluem, também, apoio na satisfação das necessidades básicas, no desempenho das atividades de vida diária e nas atividades instrumentais da vida diária. Para além do apoio psicossocial e ocupacional envolvendo os familiares e outros prestadores de cuidados, podendo ainda providenciar a educação para a saúde dos doentes, familiares e cuidadores e a coordenação e gestão de casos com outros recursos de saúde e sociais.

Desta forma, os serviços prestados podem agrupar-se em:

- Visita Domiciliária Curativa (Tratamentos, atitudes terapêuticas, colheita de análises, entre outras), com duração de 15 minutos em média por cada intervenção
- Visita Domiciliária de Vigilância, com duração de uma hora em média
- Visita Domiciliária de Reabilitação, com duração de uma hora em média.

O tempo apresentado foi indicado e recolhido através das normas para o cálculo de dotações seguras dos cuidados de enfermagem, segundo dados da Ordem dos Enfermeiros, [16].

Em particular, consideram-se cinco tratamentos distintos, segundo a Tabela 7.1.

Tabela 7.1: Serviços prestados segundo os tipos de visitas domiciliárias e a sua duração, em minutos.

Tratamento	Descrição do Tratamento	Caracterização	Dur. (min.)
1	Visita Domiciliária Curativa	Tratamentos, por exemplo, da úlcera de pressão, úlcera venosa, feridas cirúrgicas, feridas traumáticas, ligaduras, remover material de sutura, queimaduras, avaliação e vigia de pensos em feridas.	30
2	Visita Domiciliária de Vigilância e Reabilitação	Avaliação, execução e monitorização do Paciente.	60
3	Visita Domiciliária Curativa e de Vigilância	Tratamento de ferida, vigiar penso, monitorização de frequência e tensão, ensinar e instruir o Paciente das complicações e patologias.	75
4	Visita Domiciliária de Vigilância	Avaliar o risco de queda, auto cuidado, comportamentos do Paciente e ainda os conhecimentos do prestador. Monitorizar, altura, tensão e frequência cardíaca. Regime dietético e medicamentoso do Paciente.	60
5	Visita Domiciliária	Avaliar, apoiar e ensinar sobre o Luto.	60

7.1.2 Número e caracterização dos enfermeiros e pacientes

De acordo com dados fornecidos pela Unidade de Saúde existem 24 enfermeiros que podem fazer visitas domiciliárias e 31 pacientes que recebem tratamento ao domicílio. Contudo, dos 24 enfermeiros, apenas foram considerados 12 enfermeiros. Então, para o dia 1 de visitas domiciliárias, consideraram-se 12 enfermeiros para fazer as visitas domiciliárias e 31 pacientes para receber tratamento ao domicílio. Para o dia 2 de visitas domiciliárias,

consideraram-se 10 enfermeiros para fazer visitas domiciliárias e 24 pacientes para receber tratamento ao domicílio; para o dia 3 de visitas domiciliárias, consideraram-se 8 enfermeiros para fazer as respetivas visitas domiciliárias e 30 pacientes para receber tratamento ao domicílio; no dia 4 de visitas domiciliárias, consideraram-se 12 enfermeiros para fazer visitas domiciliárias e 22 pacientes para receber tratamento e, por fim, no dia 5 de visitas domiciliárias, consideraram-se 9 enfermeiros para fazer as visitas domiciliárias e 18 pacientes para receber tratamento ao domicílio.

Embora todos os enfermeiros possuam as mesmas capacidades, neste estudo, nem todos poderão realizar todos os tratamentos. Para isso, na Tabela 7.2, apresentar-se-á quais os tratamentos que cada enfermeiro exerce, assim como o tempo médio de tratamento necessário.

Tabela 7.2: Tempo médio de tratamentos que cada enfermeiro exerce no dia de trabalho, em minutos.

	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4	Trat.5
Enfermeiro 1	30			60	
Enfermeiro 2	30	60		60	
Enfermeiro 3	30			60	
Enfermeiro 4	30		75	60	
Enfermeiro 5	30			60	
Enfermeiro 6	30			60	60
Enfermeiro 7	30		75	60	
Enfermeiro 8	30			60	
Enfermeiro 9	30			60	
Enfermeiro 10	30			60	
Enfermeiro 11	30			60	
Enfermeiro 12	30			60	

Como referido anteriormente, no dia 18 de abril existiam 31 pacientes atribuídos às visitas domiciliárias, cujo número foi alterado, ao acaso, por cada dia durante uma semana. Na Tabela 7.3 encontram-se especificados quais os tratamentos que cada paciente carece.

Estes pacientes encontram-se distribuídos pela região de Bragança, em particular, nas localidades que estão representadas na Tabela 7.5, cujas abreviaturas são mostradas na Tabela 7.4.

Como o objetivo é minimizar o tempo total gasto pelos enfermeiros para visitar todos os pacientes, na Tabela 7.6, apresenta-se os respetivos tempos de viagem entre todas as localidades.

Tabela 7.3: Tratamentos necessários para cada paciente atribuídos às visitas domiciliárias.

	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4	Trat.5
Paciente 01	x				
Paciente 02	x				
Paciente 03	x				
Paciente 04	x				
Paciente 05		x			
Paciente 06		x			
Paciente 07		x			
Paciente 08	x				
Paciente 09	x				
Paciente 10	x				
Paciente 11	x				
Paciente 12	x				
Paciente 13	x				
Paciente 14	x				
Paciente 15			x		
Paciente 16				x	
Paciente 17	x				
Paciente 18					x
Paciente 19	x				
Paciente 20			x		
Paciente 21				x	
Paciente 22	x				
Paciente 23	x				
Paciente 24	x				
Paciente 25				x	
Paciente 26				x	
Paciente 27				x	
Paciente 28				x	
Paciente 29				x	
Paciente 30				x	
Paciente 31				x	

Tabela 7.4: Designação abreviada das localidades.

Localidades	Abreviatura
Bragança	Bg
Parada	Pa
Rebordainhos	Re
Carrazedo	Car
Espinhosela	Esp
Rebordaos	R
Salsas	Sal
Serapicos	Se
Outeiro	Ou
Meixedo	M
Bragada	Bda
Milhão	Mil

Na seguinte secção são apresentados os resultados do caso em estudo com o algoritmo utilizado.

Tabela 7.5: Localidades dos pacientes atribuídos às visitas domiciliárias.

	Bg	Pa	Re	Car	Esp	R	Sal	Se	Ou	M	Bda	Mil
Paciente 01	x											
Paciente 02		x										
Paciente 03	x											
Paciente 04	x											
Paciente 05	x											
Paciente 06			x									
Paciente 07	x											
Paciente 08				x								
Paciente 09					x							
Paciente 10	x											
Paciente 11						x						
Paciente 12	x											
Paciente 13	x											
Paciente 14							x					
Paciente 15	x											
Paciente 16								x				
Paciente 17		x										
Paciente 18	x											
Paciente 19									x			
Paciente 20	x											
Paciente 21	x											
Paciente 22										x		
Paciente 23	x											
Paciente 24	x											
Paciente 25											x	
Paciente 26	x											
Paciente 27	x											
Paciente 28	x											
Paciente 29	x											
Paciente 30												x
Paciente 31												x

Tabela 7.6: Informação relativa aos tempos de viagem entre as diferentes localidades, em minutos.

	Bg	Pa	Re	Car	Esp	R	Sal	Se	Ou	M	Bda	Mil
Bg	10	28	25	26	20	14	23	31	23	20	22	24
Pa	28	12	27	39	37	25	21	23	27	40	26	36
Re	25	27	8	33	34	22	12	20	32	37	14	33
Car	26	39	33	11	24	23	34	42	38	39	33	39
Esp	20	37	34	24	6	24	32	40	33	18	31	34
R	14	25	22	23	24	8	20	28	26	27	19	27
Sal	23	25	12	34	32	20	5	8	30	34	9	31
Se	31	23	20	42	40	28	8	13	38	42	17	39
Ou	23	27	32	38	33	26	30	38	4	29	30	14
M	20	40	37	39	18	27	34	42	29	9	34	31
Bda	22	26	14	33	31	19	9	17	30	34	7	31
Mil	24	36	33	39	34	27	31	39	14	31	31	11

7.2 Resultados obtidos

Como já foi referido anteriormente, ao longo deste trabalho foi usado uma formulação de programação inteira, que foi implementada no Solver CPLEX.

Mais uma vez, os resultados e soluções numéricas apresentadas daqui em diante, foram

obtidas com recurso ao *software* CPLEX Optimization Studio, utilizando um processador Intel(R) Core(TM)i3 2.0GHz com 4.0GB de memória RAM.

Para uma melhor visualização e tendo em conta o horário disponibilizado pela Unidade de Saúde, foi importante recolher a rota diária referente ao planeamento realizado pela Unidade de Saúde, relativo ao dia um de visitas domiciliárias, dia que serviu de base para criar os quatro dias seguintes, de modo a perfazer uma semana de visitas domiciliárias. Estas rotas, não possuem qualquer modelo matemático ou sequer estão sujeitas a mecanismos computacionais.

Assim, os dados referentes aos cinco dias de visitas domiciliárias ao cargo dos respetivos enfermeiros foram recolhidos, tratados e identificados para que fosse possível realizar a consulta e comparação dos mesmos com os resultados anteriormente estudados e apresentados por outros métodos de otimização.

Para visualizar os escalonamentos obtidos, recorreu-se aos diagramas de *Gantt*, usados para ilustrar o avanço das diferentes etapas de um projeto.

A Figura 7.2, apresenta o horário de cada um dos enfermeiros, identificando os trajetos percorridos, os diferentes tratamentos que cada enfermeiro realiza aos pacientes que lhe foram atribuídos e, ainda, o fim do percurso após a conclusão das prestações de cuidados, isto é, o regresso ao ponto de origem (Unidade de Saúde).

Porém, a Tabela 7.7, apresenta uma revisão breve e detalhada do resultado obtido, permitindo analisar enfermeiro por enfermeiro o planeamento obtido para o dia 1 de visitas domiciliárias.

Após a breve revisão apresentada na tabela anterior, pode-se concluir que o planeamento e a distribuição dos vários pacientes pelos doze enfermeiros ocorreu de forma admissível. O horário obtido, permite verificar os diferentes trajetos e viagens que cada enfermeiro realiza para fazer as visitas domiciliárias.

Analisando o planeamento obtido, verifica-se que no geral todos os enfermeiros têm cargas horárias mais consistentes entre eles e bem definidas. Porém, o enfermeiro 3 é o que apresenta um horário mais leve, fazendo apenas uma única visita domiciliária, relativamente aos restantes enfermeiros.

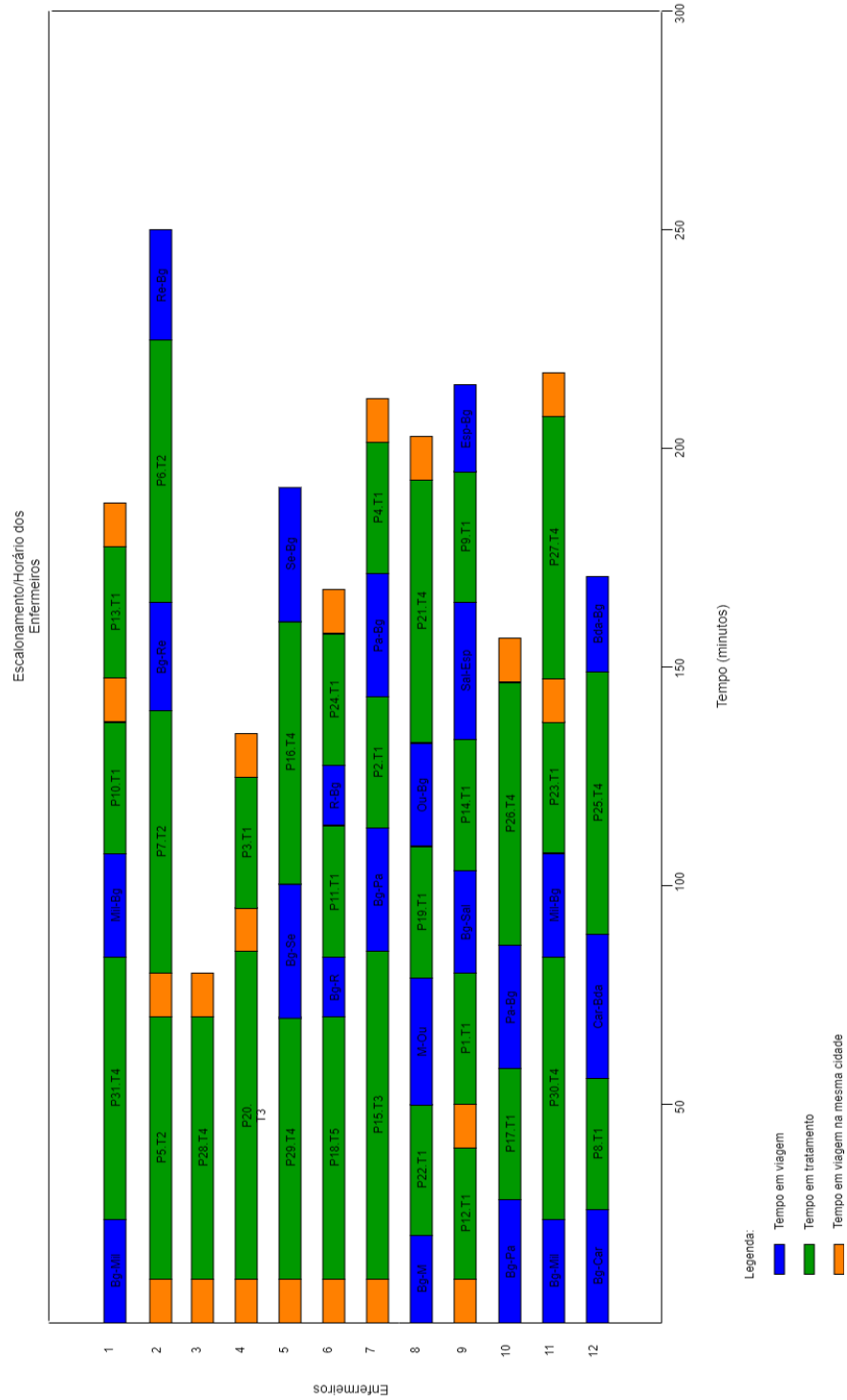


Figura 7.2: Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 1 de visitas domiciliares.

Tabela 7.7: Revisão do planeamento obtido para o dia 1 de visitas domiciliárias.

Enfermeiros	Legenda do Escalonamento de Rotas obtido
Enfermeiro 1	O Enfermeiro 1 desloca-se da Unidade de Saúde até Milhão para cuidar do Paciente 31 (que necessita do tratamento 4), em seguida viaja de Milhão até Bragança para tratar do Paciente 10 (tratamento 1). Ainda na mesma localidade, presta auxílio ao Paciente 13 (tratamento 1) e, quando terminado regressa ao ponto de origem (Unidade de Saúde).
Enfermeiro 2	O Enfermeiro 2 desloca-se da Unidade de Saúde até ao domicílio do Paciente 5 (tratamento 2), que está inserido na mesma localidade da Unidade de Saúde. Ainda dentro da mesma localidade, presta auxílio ao Paciente 7 (tratamento 2), em seguida viaja até Rebordainhos para tratar do Paciente 6 (tratamento 2), regressando depois de Rebordainhos até ao ponto de origem.
Enfermeiro 3	O Enfermeiro 3 desloca-se da Unidade de Saúde até ao domicílio do Paciente 28 (tratamento 4), regressando depois de terminar o tratamento, ao ponto de origem.
Enfermeiro 4	O Enfermeiro 4 desloca-se da Unidade de Saúde até ao domicílio do Paciente 20 (tratamento 3) e até ao domicílio do Paciente 3 (tratamento 1), inserido na mesma localidade. Terminado o tratamento, regressa ao ponto de origem.
Enfermeiro 5	O Enfermeiro 5 desloca-se da Unidade de Saúde até ao domicílio do Paciente 29 (tratamento 4), inserido na mesma localidade da Unidade de Saúde. Depois viaja até Serapicos para cuidar do Paciente 16 (tratamento 4). Por fim, regressa de Serapicos até ao ponto de origem.
Enfermeiro 6	O Enfermeiro 6 desloca-se da Unidade de Saúde até ao domicílio do Paciente 18 (tratamento 5), que está inserido na mesma localidade. Viaja depois de Bragança até Rebordãos, para tratar do Paciente 11 (tratamento 1). Viaja novamente até Bragança para prestar cuidados ao Paciente 24 (tratamento 1). Terminado o tratamento, regressa ao ponto de origem.
Enfermeiro 7	O Enfermeiro 7 desloca-se da Unidade de Saúde até ao domicílio do Paciente 15 (tratamento 3), inserido na mesma localidade. Depois viaja até Parada para prestar auxílio ao Paciente 2 (tratamento 1). Regressa a Bragança para cuidar do Paciente 4 (tratamento 1). Por fim, regressa ao ponto de origem.
Enfermeiro 8	O Enfermeiro 8 desloca-se da Unidade de Saúde até Meixedo para cuidar do Paciente 22 (tratamento 1). Depois viaja até Outeiro para prestar auxílio ao Paciente 19 (tratamento 1). Viaja novamente de Outeiro até Bragança para tratar do Paciente 21 (tratamento 4). Terminado o último Paciente, regressa ao ponto de origem.
Enfermeiro 9	O Enfermeiro 9 desloca-se da Unidade de Saúde até aos domicílios do Paciente 12 (tratamento 1) e do Paciente 1 (tratamento 1), ambos inseridos na mesma localidade da Unidade de Saúde. Viaja depois até Salsas para cuidar do Paciente 14 (tratamento 1). Viaja novamente de Salsas até Espinhosela para tratar do Paciente 9 (tratamento 1). Por fim, regressa de Espinhosela até ao ponto de origem.
Enfermeiro 10	O Enfermeiro 10 desloca-se da Unidade de Saúde até Parada para prestar cuidados ao Paciente 17 (tratamento 1). Viaja de Parada até Bragança para cuidar do Paciente 26 (tratamento 4). Terminado o tratamento do último Paciente, regressa ao ponto de origem.
Enfermeiro 11	O Enfermeiro 11 desloca-se da Unidade de Saúde até Milhão para prestar auxílio ao Paciente 30 (tratamento 4). Viaja novamente até Bragança para tratar do Paciente 23 (tratamento 1) e do Paciente 27 (tratamento 4). Terminado o último Paciente, regressa ao ponto de origem.
Enfermeiro 12	O Enfermeiro 12 desloca-se da Unidade de Saúde até Carrazedo para cuidar do Paciente 8 (tratamento 1). Depois viaja até Bragada para prestar cuidados ao Paciente 25 (tratamento 4). Por fim e terminado o tratamento do último Paciente, regressa depois de Bragada até ao ponto de origem.

Concluindo, a solução obtida e apresentada na Figura 7.2, mostra que o fim do percurso de visitas domiciliárias, termina ao fim de 250 minutos, isto é, quatro horas e dezassete minutos. A solução ótima obtida para este dia de visitas domiciliárias é aos 250 minutos.

A Figura 7.3, possui novamente o horário de cada um dos enfermeiros para o dia dois de visitas domiciliárias, identificando os trajetos percorridos, os diferentes tratamentos que cada enfermeiro realiza aos pacientes que lhe foram atribuídos e, ainda, o fim do percurso das prestações de cuidados, isto é, o regresso ao ponto de origem (Unidade de Saúde). É de referir que neste caso, só fazem parte das visitas domiciliárias dez enfermeiros que realizam os devidos tratamentos aos vinte e quatro pacientes que lhe foram atribuídos.

A Tabela 7.8, apresenta uma vez mais, uma breve e detalha revisão do resultado obtido para o dia 2 de visitas domiciliárias, permitindo analisar enfermeiro por enfermeiro o planeamento obtido para este dia de visitas domiciliárias.

Após a breve revisão apresentada na tabela anterior, pode-se concluir que o planeamento e a distribuição dos vinte e quatro pacientes pelos dez enfermeiros ocorreu de forma admissível. Verifica-se, também, que todos os enfermeiros realizam e prestam cuidados de saúde aos pacientes que lhe estão atribuídos. O horário obtido, permite verificar os diferentes trajetos e viagens que cada enfermeiro realiza para fazer as visitas domiciliárias.

Analisando o planeamento obtido, verifica-se que os Enfermeiros 2, 5, 6 e 10 têm cargas horárias mais consistentes em relação aos restantes enfermeiros, pois têm cargas horárias mais reduzidas, permitindo que estes sejam alocados para outros serviços, que possa fazer falta na Unidade de Saúde. Pode-se ainda referir, que os Enfermeiros 8 e 9 realizam apenas uma única visita domiciliária.

Concluindo, a solução obtida e apresentada na Figura 7.3, mostra que o fim do percurso de visitas domiciliárias, termina novamente ao fim de 250 minutos. A solução ótima obtida para este dia de visitas domiciliárias é aos 250 minutos.

De modo a obter outro tipo de escalonamento, alterando, agora, o número de enfermeiros para oito e o número de pacientes para trinta, podemos verificar na Figura 7.4 o horário relativo ao dia 3 de visitas domiciliárias.

A Figura 7.4, possui novamente o horário de cada um dos enfermeiros, identificando os

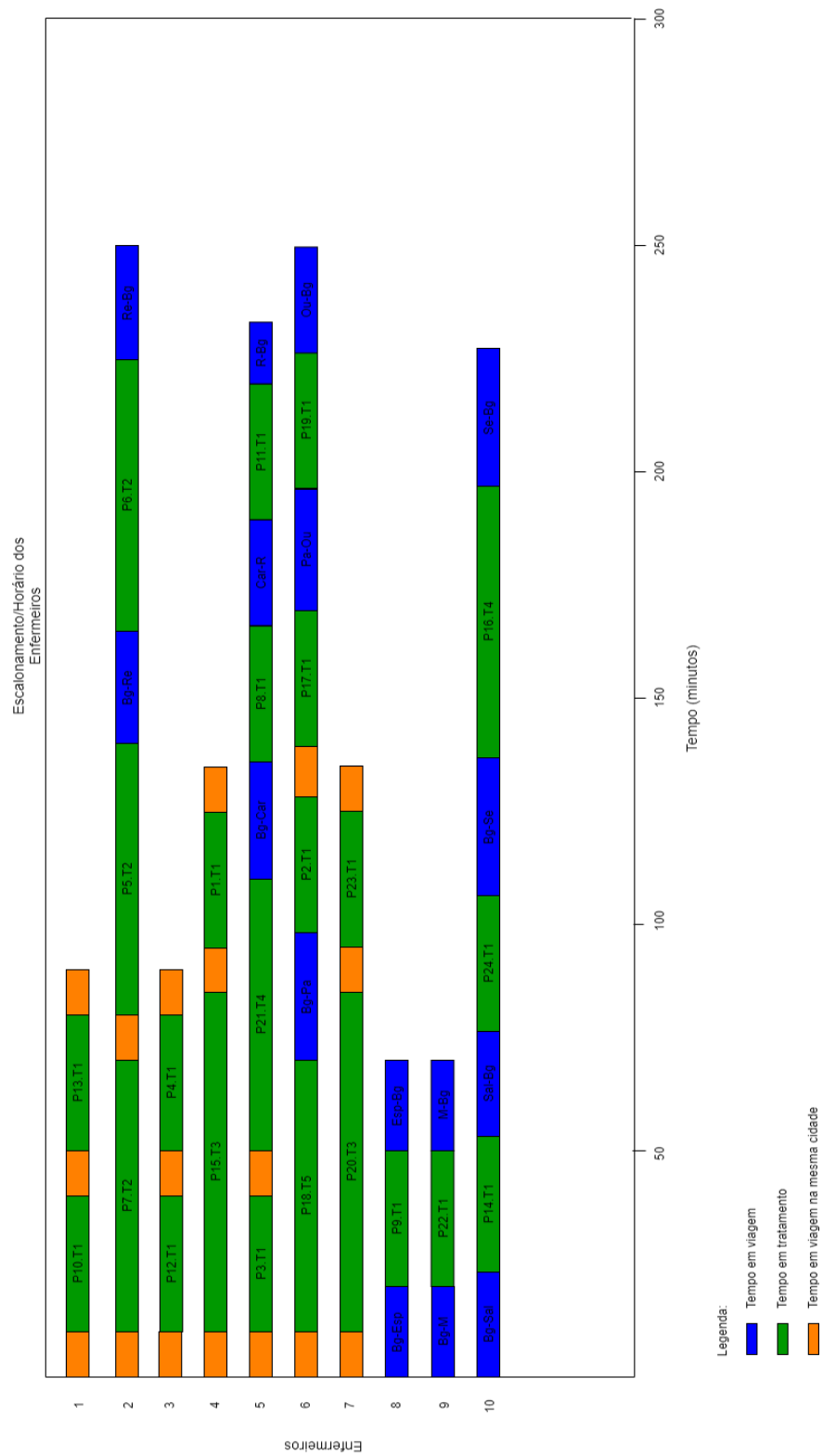


Figura 7.3: Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 2 de visitas domiciliares.

Tabela 7.8: Revisão do planeamento obtido para o dia 2 de visitas domiciliárias.

Enfermeiros	Legenda do Escalonamento da Rota obtido
Enfermeiro 1	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 10 (tratamento 1) e, ainda na mesma localidade cuida do Paciente 13 (tratamento 1) e regressa ao ponto de origem (Unidade de Saúde).
Enfermeiro 2	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 7 (tratamento 2) e, ainda na mesma localidade cuida do Paciente 5 (tratamento 2), viaja em seguida de Bragança até Rebordainhos e cuida do Paciente 6 (tratamento 2), regressando depois de Rebordainhos até ao ponto de origem.
Enfermeiro 3	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 12 (tratamento 1) e, ainda na mesma localidade cuida do Paciente 4 (tratamento 1), regressando, por fim, ao ponto de origem.
Enfermeiro 4	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 15 (tratamento 3) e, ainda na mesma localidade cuida do Paciente 1 (tratamento 1), por fim, regressa até ao ponto de origem.
Enfermeiro 5	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 3 (tratamento 1) e, ainda na mesma localidade trata do Paciente 21 (tratamento 4), viaja em seguida de Bragança até Carrzedo para tratar do Paciente 8 (tratamento 1), viaja depois de Carrzedo até Rebordãos para tratar do Paciente 11 (tratamento 1), regressando depois de Rebordãos até ao ponto de origem.
Enfermeiro 6	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 18 (tratamento 5), viaja em seguida de Bragança até Parada para cuidar do Paciente 2 (tratamento 1) e, ainda dentro da mesma localidade trata do Paciente 17 (tratamento 1), viaja depois de Parada até Outeiro para tratar do Paciente 19 (tratamento 1), regressando depois de Outeiro ao ponto de origem.
Enfermeiro 7	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 20 (tratamento 3) e, ainda dentro da mesma localidade cuida do Paciente 23 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 8	Unidade de Saúde (Bragança) até Espinhosela, presta cuidados ao Paciente 9 (tratamento 1), regressando depois de Espinhosela até ao ponto de origem.
Enfermeiro 9	Unidade de Saúde (Bragança) até Meixedo, presta cuidados ao Paciente 22 (tratamento 1), regressando depois de Meixedo até ao ponto de origem.
Enfermeiro 10	Unidade de Saúde (Bragança) até Salsas, presta cuidados ao Paciente 14 (tratamento 1), viaja em seguida até Bragança para cuidar do Paciente 24 (tratamento 1), viaja depois de Bragança até Serapicos para cuidar do Paciente 16 (tratamento 4), regressando depois de Serapicos até ao ponto de origem.

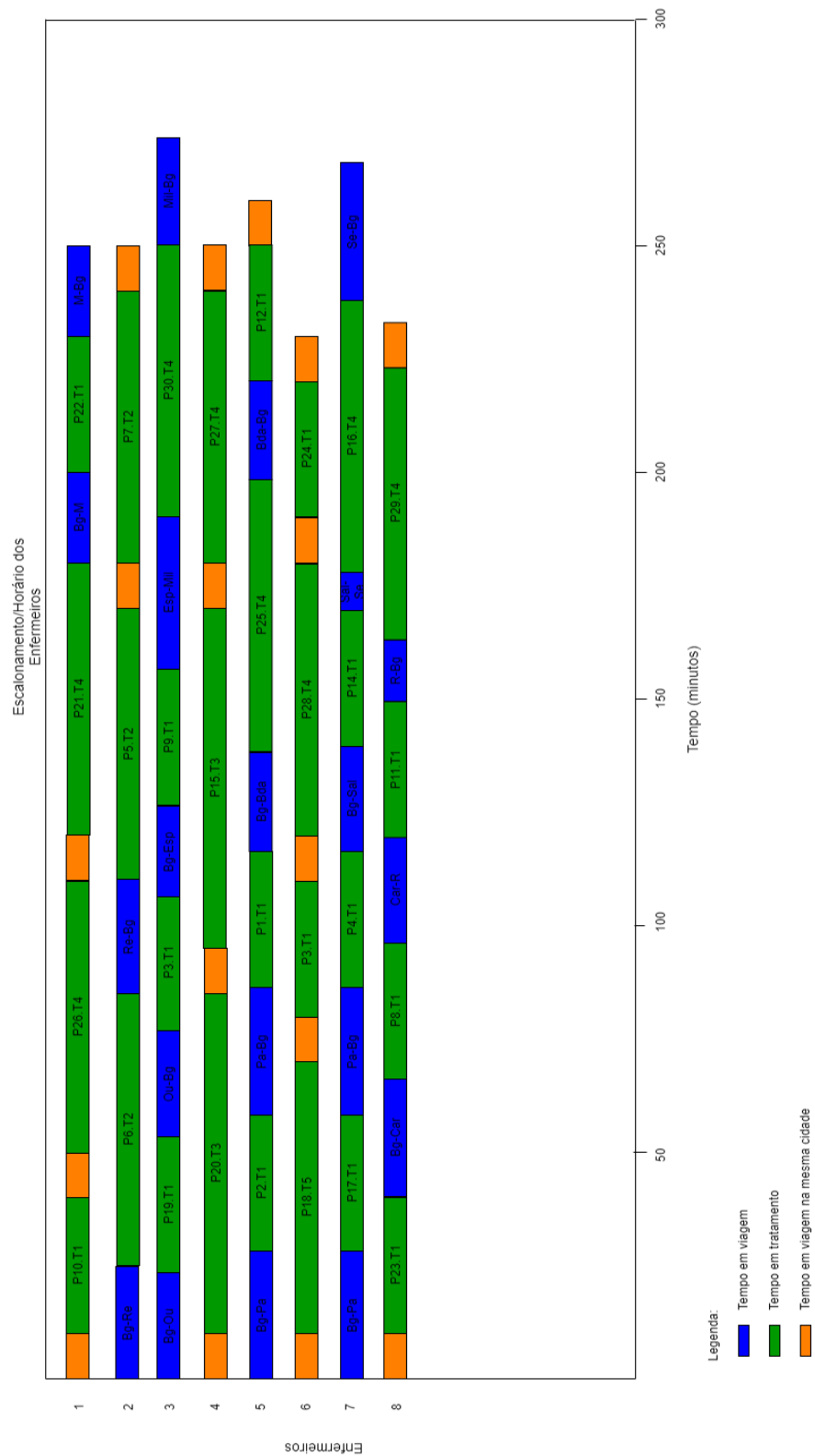


Figura 7.4: Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 3 de visitas domiciliares.

trajetos percorridos, os diferentes tratamentos que cada enfermeiro realiza aos pacientes que lhe foram atribuídos e, ainda, o fim do percurso das prestações de cuidados, isto é, o regresso ao ponto de origem (Unidade de Saúde). É de referir que neste caso, só fazem parte das visitas domiciliárias oito enfermeiros que realizam os devidos tratamentos aos trinta pacientes que lhe foram atribuídos.

A Tabela 7.9, apresenta uma vez mais, uma breve e detalha revisão do resultado obtido para o dia 3 de visitas domiciliárias, permitindo analisar enfermeiro por enfermeiro o planeamento obtido para este dia de visitas domiciliárias.

Após a breve revisão apresentada na tabela anterior, pode-se concluir que o planeamento e a distribuição dos trinta pacientes pelos oito enfermeiros ocorreu de forma admissível. Verifica-se, também, que todos os enfermeiros realizam e prestam cuidados de saúde aos pacientes que lhe estão atribuídos. O horário obtido, permite verificar os diferentes trajetos e viagens que cada enfermeiro realiza para fazer as visitas domiciliárias.

Analisando o planeamento obtido, verifica-se que todos os enfermeiros têm uma carga horária consistente e bem definida. Os Enfermeiros 3 e 7 concluem a prestação de cuidados ao domicílio mais tarde relativamente ao horário dos outros enfermeiros. Isto, provavelmente deve-se ao facto de existir uma menor concentração quanto ao número de enfermeiros que prestam cuidados ao domicílio em relação ao número de pacientes a necessitar de cuidados. Logo, todos os enfermeiros realizam mais do que uma única visita domiciliária.

Concluindo, a solução obtida e apresentada na Figura 7.4, mostra que o fim do percurso de visitas domiciliárias, termina agora ao fim de 274 minutos, isto é, quatro horas e cinquenta e sete minutos. Embora o término da última visita domiciliária seja aos 274 minutos, realizada pelo enfermeiro 3, a solução ótima obtida para este dia de visitas domiciliárias é aos 251 minutos, como vai ser apresentado na secção seguinte.

De modo a obter outro tipo de escalonamento, alterando, agora, o número de enfermeiros para doze e o número de pacientes para vinte e dois, podemos verificar na Figura 7.5 o horário relativo ao dia 4 de visitas domiciliárias.

A Figura 7.5, possui novamente o horário de cada um dos enfermeiros, identificando os

Tabela 7.9: Revisão do planeamento obtido para o dia 3 de visitas domiciliárias.

Enfermeiros	Legenda do Escalonamento de Rotas obtido
Enfermeiro 1	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 10 (tratamento 1) e, ainda na mesma localidade cuida do Paciente 26 (tratamento 4) e do Paciente 21 (tratamento 4), viaja a seguir de Bragança até Meixedo para cuidar do Paciente 22 (tratamento 1), regressando depois de Meixedo até ao ponto de origem (Unidade de Saúde).
Enfermeiro 2	Unidade de Saúde (Bragança) até Rebordainhos, presta cuidados ao Paciente 6 (tratamento 2), viaja em seguida de Rebordainhos até Bragança para tratar do Paciente 5 (tratamento 2) e, ainda na mesma localidade trata do Paciente 7 (tratamento 2), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 3	Unidade de Saúde (Bragança) até Outeiro, presta cuidados ao Paciente 19 (tratamento 1), viaja a seguir de Outeiro até Bragança para cuidar do Paciente 3 (tratamento 1), viaja depois de Bragança até Espinhosela para cuidar do Paciente 9 (tratamento 1), viajando depois de Espinhosela até Milhão para cuidar do Paciente 30 (tratamento 4), regressando depois de Milhão até ao ponto de origem.
Enfermeiro 4	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 20 (tratamento 3) e, ainda na mesma localidade trata do Paciente 15 (tratamento 3) e, depois trata, ainda, do Paciente 27 (tratamento 4), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 5	Unidade de Saúde (Bragança) até Parada, presta cuidados ao Paciente 2 (tratamento 1), viaja em seguida de Parada até Bragança para cuidar do Paciente 1 (tratamento 1), viaja depois de Bragança até Bragada para cuidar do Paciente 25 (tratamento 4), regressando a Bragança para cuidar do Paciente 12 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 6	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 18 (tratamento 5) e, ainda na mesma localidade presta cuidados ao Paciente 3 (tratamento 1), ao Paciente 28 (tratamento 4) e ao Paciente 24 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 7	Unidade de Saúde (Bragança) até Parada, presta cuidados ao Paciente 17 (tratamento 1), viaja em seguida de Parada até Bragança para cuidar do Paciente 4 (tratamento 1), viaja depois de Bragança até Salsas para cuidar do Paciente 14 (tratamento 1), viajando depois de Salsas até Serapicos para cuidar do Paciente 16 (tratamento 4), regressando depois de Serapicos até ao ponto de origem.
Enfermeiro 8	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 23 (tratamento 1), viaja a seguir de Bragança até Carrazedo para tratar do Paciente 8 (tratamento 1), viaja depois de Carrazedo até Rebordãos para tratar do Paciente 11 (tratamento 1), viaja depois de Rebordãos até Bragança para tratar do Paciente 29 (tratamento 4), regressando depois até ao ponto de origem.

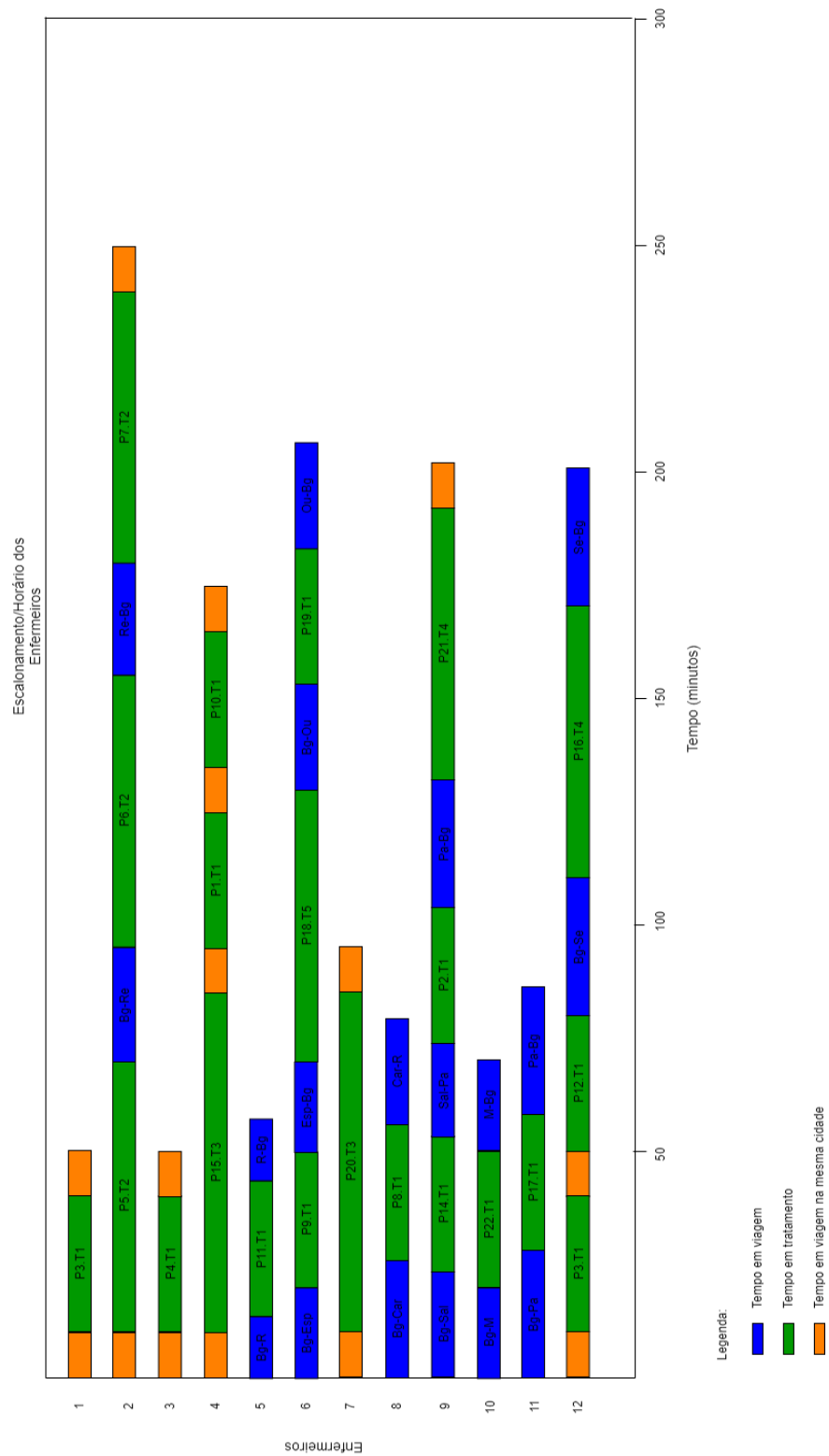


Figura 7.5: Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 4 de visitas domiciliares.

trajetos percorridos, os diferentes tratamentos que cada enfermeiro realiza aos pacientes que lhe foram atribuídos e, ainda, o fim do percurso das prestações de cuidados, isto é, o regresso ao ponto de origem (Unidade de Saúde). É de referir que neste caso, só fazem parte das visitas domiciliárias doze enfermeiros que realizam os devidos tratamentos aos vinte e dois pacientes que lhe foram atribuídos.

A Tabela 7.10, apresenta uma vez mais, uma breve e detalha revisão do resultado obtido para o dia 4 de visitas domiciliárias, permitindo analisar enfermeiro por enfermeiro o planeamento obtido para este dia de visitas domiciliárias.

Após a breve revisão apresentada na tabela anterior, pode-se concluir que o planeamento e a distribuição dos vinte e dois pacientes pelos doze enfermeiros ocorreu de forma admissível. Verifica-se, também, que todos os enfermeiros realizam e prestam cuidados de saúde aos pacientes que lhe estão atribuídos. O horário obtido, permite verificar os diferentes trajetos e viagens que cada enfermeiro realiza para fazer as visitas domiciliárias.

Analisando o planeamento obtido, verifica-se os Enfermeiros 1, 3 e 5 têm uma carga horária mais leve relativamente à carga horária dos outros enfermeiros, podendo assim, realizarem outros serviços que a Unidade de Saúde necessite. Como nesta situação há um maior número de enfermeiros, a carga horária não é tão sobrecarregada. Contudo, os Enfermeiros 1, 3, 5, 7, 8, 10 e 11 são os que realizam apenas uma única visita domiciliar em relação aos restantes enfermeiros.

Concluindo, a solução obtida e apresentada na Figura 7.5, mostra que o fim do percurso de visitas domiciliárias, termina agora ao fim de 250 minutos, de acordo com o último serviço prestado ao domicílio, neste caso pelo Enfermeiro 2. A solução ótima obtida para este dia de visitas domiciliárias é aos 250 minutos.

De modo a obter outro tipo de escalonamento e, perfazendo o último dia de visitas domiciliárias, agora, com o número de enfermeiros para nove e o número de pacientes para dezoito, podemos verificar na Figura 7.6 o horário relativo ao dia 5 de visitas domiciliárias.

A Figura 7.6, possui novamente o horário de cada um dos enfermeiros, identificando os trajetos percorridos, os diferentes tratamentos que cada enfermeiro realiza aos pacientes que lhe foram atribuídos e, ainda, o fim do percurso das prestações de cuidados, isto é, o

Tabela 7.10: Revisão do planeamento obtido para o dia 4 de visitas domiciliárias.

Enfermeiros	Legenda do Escalonamento de Rotas obtido
Enfermeiro 1	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 3 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem (Unidade de Saúde).
Enfermeiro 2	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 5 (tratamento 2), viaja a seguir de Bragança até Rebordainhos para cuidar do Paciente 6 (tratamento 2), viaja depois de Rebordainhos até Bragança para cuidar do Paciente 7 (tratamento 2), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 3	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 4 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 4	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 15 (tratamento 3) e, ainda na mesma localidade presta cuidados ao Paciente 1 (tratamento 1) e ao Paciente 10 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 5	Unidade de Saúde (Bragança) até Rebordãos, presta cuidados ao Paciente 11 (tratamento 1), regressando depois de Rebordãos até ao ponto de origem.
Enfermeiro 6	Unidade de Saúde (Bragança) até Espinhosela, presta cuidados ao Paciente 9 (tratamento 1), viaja em seguida de Espinhosela até Bragança para tratar do Paciente 18 (tratamento 5), viaja depois de Bragança até Outeiro para tratar do Paciente 19 (tratamento 1), regressando depois de Outeiro até ao ponto de origem.
Enfermeiro 7	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 20 (tratamento 3), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 8	Unidade de Saúde (Bragança) até Carrazedo, presta cuidados ao Paciente 8 (tratamento 1), regressando depois de Carrazedo até ao ponto de origem.
Enfermeiro 9	Unidade de Saúde (Bragança) até Salsas, presta cuidados ao Paciente 14 (tratamento 1), viaja em seguida de Salsas até Parada para cuidar do Paciente 2 (tratamento 1), regressando de Parada até Bragança para cuidar do Paciente 21 (tratamento 4), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 10	Unidade de Saúde (Bragança) até Meixedo, presta cuidados ao Paciente 22 (tratamento 1), regressando depois de Meixedo até ao ponto de origem.
Enfermeiro 11	Unidade de Saúde (Bragança) até Parada, presta cuidados ao Paciente 17 (tratamento 1), regressando depois de Parada até ao ponto de origem.
Enfermeiro 12	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 3 (tratamento 1) e, ainda na mesma localidade trata do Paciente 12 (tratamento 1), viajando em seguida de Bragança até Serapicos para tratar do Paciente 16 (tratamento 4), regressando depois de Serapicos até ao ponto de origem.

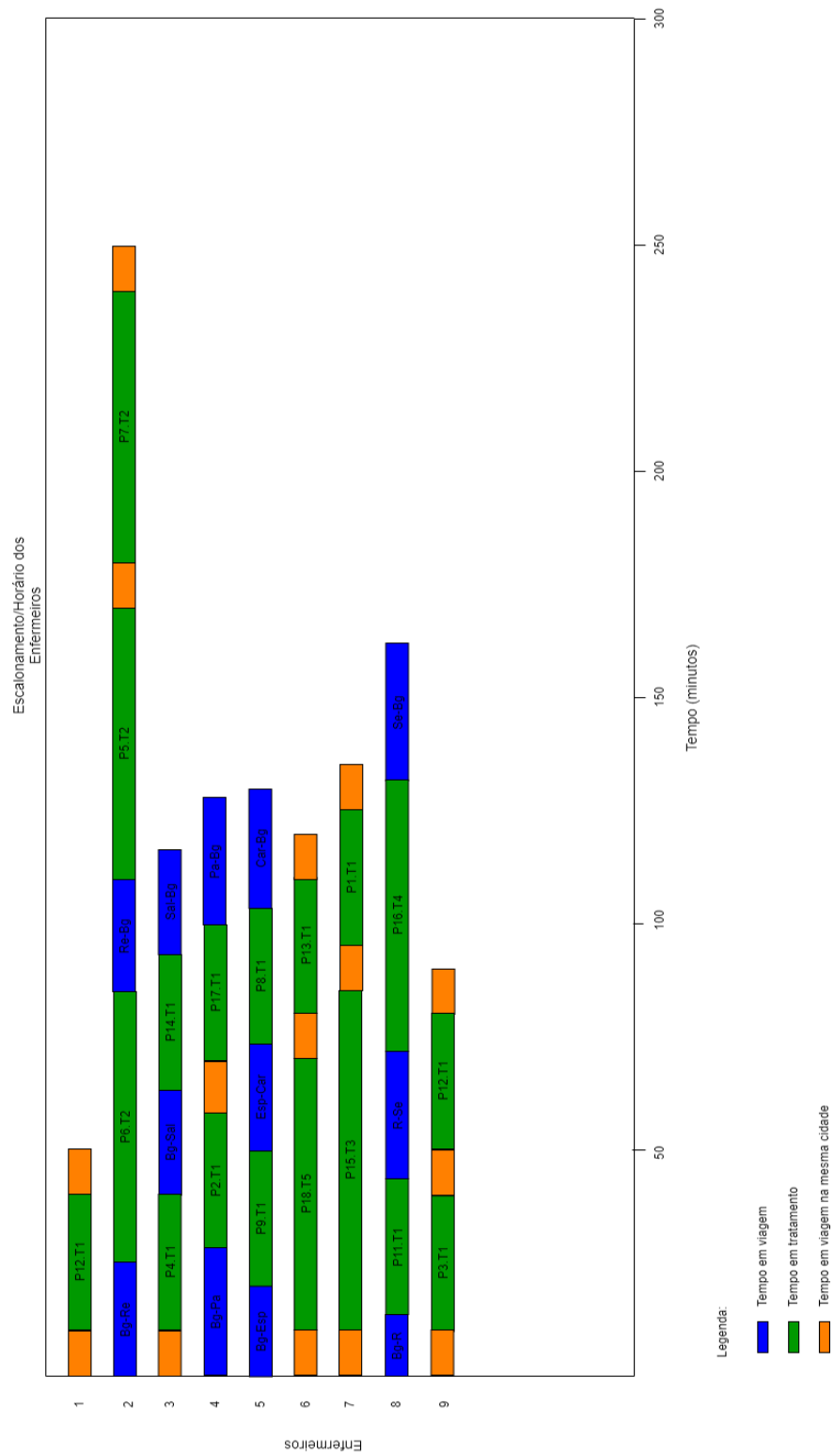


Figura 7.6: Escalonamento/Horário obtido computacionalmente para o dia 5 de visitas domiciliares.

Tabela 7.11: Revisão do planeamento obtido para o dia 5 de visitas domiciliárias.

Enfermeiros	Legenda do Escalonamento de Rotas obtido
Enfermeiro 1	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 12 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem (Unidade de Saúde).
Enfermeiro 2	Unidade de Saúde (Bragança) até Rebordainhos, presta cuidados ao Paciente 6 (tratamento 2), viaja em seguida de Rebordainhos até Bragança para cuidar do Paciente 5 (tratamento 2) e, ainda na mesma localidade cuida do Paciente 7 (tratamento 2), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 3	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 4 (tratamento 1), viaja em seguida de Bragança até Salsas para tratar do Paciente 14 (tratamento 1), regressando depois de Salsas até ao ponto de origem.
Enfermeiro 4	Unidade de Saúde (Bragança) até Parada, presta cuidados ao Paciente 2 (tratamento 1) e, ainda na mesma localidade presta cuidados ao Paciente 17 (tratamento 1), regressando depois de Parada até ao ponto de origem.
Enfermeiro 5	Unidade de Saúde (Bragança) até Espinhosela, presta cuidados ao Paciente 9 (tratamento 1), viaja em seguida de Espinhosela até Carrazedo para tratar do Paciente 8 (tratamento 1), regressando depois de Carrazedo até ao ponto de origem.
Enfermeiro 6	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 18 (tratamento 5) e, ainda na mesma localidade cuida do Paciente 13 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 7	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 15 (tratamento 3) e, ainda na mesma localidade trata do Paciente 1 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem.
Enfermeiro 8	Unidade de Saúde (Bragança) até Rebordãos, presta cuidados ao Paciente 11 (tratamento 1), viaja em seguida de Rebordãos até Serapicos para cuidar do Paciente 16 (tratamento 4), regressando depois de Serapicos até ao ponto de origem.
Enfermeiro 9	Unidade de Saúde (Bragança) até Bragança, presta cuidados ao Paciente 3 (tratamento 1) e, ainda na mesma localidade cuida do Paciente 12 (tratamento 1), regressando depois ao ponto de origem.

regresso ao ponto de origem (Unidade de Saúde). É de referir que neste caso, só fazem parte das visitas domiciliárias nove enfermeiros que realizam os devidos tratamentos aos dezoito pacientes que lhe foram atribuídos.

A Tabela 7.11, apresenta uma vez mais, uma breve e detalha revisão do resultado obtido para o dia 5 de visitas domiciliárias, permitindo analisar enfermeiro por enfermeiro o planeamento obtido para este dia de visitas domiciliárias.

Após a breve revisão apresentada na tabela anterior, pode-se concluir que o planeamento e a distribuição dos vinte e dois pacientes pelos doze enfermeiros ocorreu de forma admissível. Verifica-se, também, que todos os enfermeiros realizam e prestam cuidados de saúde aos pacientes que lhe estão atribuídos. O horário obtido, permite verificar os

diferentes trajetos e viagens que cada enfermeiro realiza para fazer as visitas domiciliárias.

Analisando o planeamento obtido, verifica-se que o Enfermeiro 1 é o que tem uma carga horária mais leve relativamente à carga horária dos outros enfermeiros, podendo assim, realizar outros serviços que a Unidade de Saúde necessite. Como nesta situação não existe discrepância entre o número de enfermeiros e o número de pacientes, a carga horária não é muito pesada. Assim, pode-se dizer também que o Enfermeiro 1 realiza apenas uma única visita domiciliária em relação aos outros enfermeiros.

Concluindo, a solução obtida e apresentada na Figura 7.6, mostra que o fim do percurso de visitas domiciliárias, termina novamente ao fim de 250 minutos, de acordo com o último serviço prestado ao domicílio, neste caso pelo enfermeiro 2. A solução ótima obtida para este dia de visitas domiciliárias é aos 250 minutos. É importante referir, que todos os enfermeiros regressam ao centro de saúde ao fim do tempo previsto para as visitas domiciliárias, 250 minutos.

Esta última solução, assim como todas as outras soluções apresentadas, mostram uma opção viável e possibilita a Unidade de Saúde de escolher, entre várias soluções ótimas, o planeamento que prefere consoante as necessidades de cada enfermeiro, critérios de seleção ou percalços que possam acontecer no dia de trabalho.

7.3 Discussão dos resultados

Nesta secção, serão comparados e discutidos dois tipos de resultados. O primeiro resultado foi obtido pelo método AG com a utilização do *software MatLab* [7] e o segundo resultado foi obtido, neste trabalho, com a utilização do *software CPLEX*.

Nas seguintes Tabelas, serão, então apresentadas todas as soluções obtidas acerca dos tempos totais despendidos por cada enfermeiro nas visitas domiciliárias com os dois tipos de algoritmos, permitindo fazer a comparação entre os tempos obtidos pelas diferentes abordagens.

A Tabela 7.12, revela que o tempo total despendido nas visitas domiciliárias, pelas três soluções ótimas obtidas, nunca ultrapassa a duração de 260 minutos, à exceção do

Tabela 7.12: Tempo total despendido por cada enfermeiro nos planeamentos obtidos, segundo o AG, segundo [7].

Enfermeiros	Tempo total despendido por cada enfermeiro nas visitas domiciliárias (minutos)
Enfermeiro 1	221
Enfermeiro 2	260
Enfermeiro 3	369
Enfermeiro 4	212
Enfermeiro 5	86
Enfermeiro 6	90
Enfermeiro 7	241
Enfermeiro 8	70
Enfermeiro 9	194
Enfermeiro 10	90
Enfermeiro 11	240
Enfermeiro 12	183

Tabela 7.13: Tempo total despendido por cada enfermeiro nos planeamentos obtidos, segundo o Solver CPLEX.

Enfermeiros	Tempo total despendido em cada Planeamento (em minutos)				
	1º Dia	2º Dia	3º Dia	4º Dia	5º Dia
Enfermeiro 1	188	90	250	50	50
Enfermeiro 2	250	250	240	250	250
Enfermeiro 3	80	90	274	50	116
Enfermeiro 4	135	135	250	175	128
Enfermeiro 5	192	233	260	58	130
Enfermeiro 6	168	250	230	206	120
Enfermeiro 7	211	135	268	95	135
Enfermeiro 8	206	70	233	82	163
Enfermeiro 9	216	70	-	206	90
Enfermeiro 10	156	228	-	70	-
Enfermeiro 11	218	-	-	86	-
Enfermeiro 12	171	-	-	202	-

Enfermeiro 3 que apresenta uma maior carga horária com um tempo total de 369 minutos. A Tabela 7.13, revela que o tempo total despendido nas visitas domiciliárias, pelas soluções ótimas obtidas para os cinco dias, nunca ultrapassa a duração de 250 minutos, à exceção do dia 3 de visitas domiciliárias. Assim, os Enfermeiros 3, 5 e 7 são os que apresentam uma maior carga horária e, portanto, um maior tempo total despendido no seus planeamentos.

Comparando, ainda, as duas Tabelas, pode-se dizer que há uma diferença de dez minutos na solução ótima obtida para a duração total das visitas domiciliárias entre o método AG e o Solver CPLEX. Nota-se assim, uma significativa melhoria no tempo total despendido com esta nova abordagem, ou seja, uma redução de dez minutos de trabalho e consequentemente uma redução dos custos envolvidos.

Para a obtenção de resultados, foram realizadas várias execuções, na tentativa de

verificar realmente a solução ótima. Assim sendo, na Tabela 7.14 serão apresentadas as diferentes soluções obtidas pelo Solver CPLEX, para assim obter a solução ótima pretendida.

Tabela 7.14: Tempo total despendido em cada dia nos planeamentos obtidos pelo Solver CPLEX.

	1º Solução	2º Solução	3º Solução	4º Solução	5º Solução	6º Solução
Dia 1	324	260	250			
Dia 2	480	295	290	274	250	
Dia 3	480	296	291	258	252	251
Dia 4	310	250				
Dia 5	447	250				

De acordo com a Tabela 7.14, verifica-se que o tempo total despendido em cada dia de visitas domiciliárias é de 250 minutos, como demonstrado anteriormente. Numa visão geral de todas as soluções obtidas, aquela que apresenta um maior tempo despendido nas visitas domiciliárias foi a primeira solução, com um tempo despendido de 480 minutos. Particularizando e, como foi dito anteriormente, o dia 3 de visitas domiciliárias foi o dia em que o programa demorou mais tempo a correr e, daí apresentar um maior número de soluções.

No trabalho desenvolvido por Alves et al.[7], o AG tem uma média de tempo de execução de 105 segundos.

A Tabela 7.15 apresenta o tempo de execução das soluções encontradas para o problema pelo Solver CPLEX.

Tabela 7.15: Tempos das execuções das soluções pelo Solver CPLEX.

	Tempo de execução (em segundos)
1º Dia	144.23
2º Dia	37.00
3º Dia	1800.06
4º Dia	34.92
5º Dia	9.55
Média Total	405.15

Com os resultados apresentados na Tabela 7.15, pode-se dizer que há discrepância dos tempos de execução, sendo o dia 3 de visitas domiciliárias, o dia com maior tempo de execução, pois existem oito enfermeiros que prestam cuidados ao domicílio a trinta pacientes. Para este dia, estão apresentados dois tempos de execução do programa, um

que corresponde a 30 minutos e outro que corresponde a 1 hora de execução do mesmo. Isto deve-se ao facto, de ser aplicado um tempo de paragem de trinta minutos numa das ferramentas de execução do programa, de modo que a solução pretendida se aproximasse da solução ótima obtida, que é de 250, caso contrário não se saberia ao certo qual o tempo de execução. Portanto, para o dia 3 de visitas domiciliárias, a solução ótima obtida foi de 251 minutos.

Embora, o *software* CPLEX seja utilizado para resolver problemas mais complexos, o tempo de execução deste programa não é o mais rápido, pois ao verificarmos a Média Total apresentada na Tabela 7.15, é aproximadamente de 405 segundos, ou seja, aproximadamente 7 minutos, relativamente à Média Total do tempo de execução do trabalho de Alves et al.[7], que não chega aos 105 segundos, isto é, 2 minutos. Isto leva a uma melhoria significativa no tempo total despendido e conseqüentemente uma redução dos custos envolvidos.

Posto isto, esta aplicação possibilita à Unidade de Saúde, não só otimizar as suas rotas, como escolher o mais adequado escalonamento/planeamento, consoante os seus critérios de seleção ou contratempos que possam acontecer nos dias de trabalho. Assim, consegue-se gerir melhor os horários, quer das visitas quer dos enfermeiros, mediante as necessidades da Unidade de Saúde.

Capítulo 8

Conclusões e Trabalho Futuro

A saúde é um dos poderosos fatores de integração e coesão sociais, mas também de geração de riqueza e bem-estar.

Portugal, e em particular a região de Bragança, necessita cada vez mais dos serviços de saúde ao domicílio. Isto, prende-se ao facto do processo de envelhecimento acarreta um declínio gradual do estado de saúde, que coloca os idosos em situação de fragilidade. O domicílio surge como o mais privilegiado lugar para a prestação dos cuidados aos doentes crónicos, nomeadamente aos mais dependentes e/ou em fase avançada de doenças graves e incuráveis. Assim, os serviços e cuidados de saúde prestados no domicílio do paciente tendem para um crescimento cada vez maior.

Porém, os cuidados de saúde domiciliários concretizam-se através de Visitas Domiciliárias, cuja periodicidade das visitas programadas varia em função das necessidades de cuidados do doente e deverá ser estabelecida, consensualmente na e em equipa, onde necessariamente se inclui o doente, o cuidador e/ou família. Normalmente, as visitas são planeadas de forma manual e sem apoio computacional, isto é, a solução obtida pode não ser a melhor.

Neste sentido, e na tentativa de diminuir os custos envolvidos, é necessário utilizar técnicas que minimizem os tempos totais despendidos nas rotas das visitas domiciliárias, sem pior a qualidade dos serviços prestados.

Desta forma, a otimização torna-se imprescindível para as Unidades de Saúde que

desempenham serviços de cuidados ao domicílio, no que diz respeito ao planeamento e escalonamento de enfermeiros que prestem cuidados de saúde em visitas domiciliárias.

Como foi observado, para resolver um problema de programação linear, é necessário recorrer ao uso de algoritmos de resolução. É de salientar que existem dois algoritmos importantes que fazem parte da Programação Linear: o Algoritmo Simplex, usado num conjunto de operações a aplicar ao problema, de forma sistemática, de modo a determinar a solução ótima do problema ou provar que não existe solução e o Algoritmo Branch and Bound, que serve para encontrar soluções ótimas para vários problemas de otimização, especialmente em otimização combinatória. Estes algoritmos foram utilizados implicitamente através da implementação de uma formulação no Solver CPLEX.

Como só foram realizados planeamentos computacionais, isto permitiu comparar os resultados obtidos pelo método do Algoritmo Genético (AG), apresentado no trabalho de Alves et al.[7] e pelo método abordado ao longo deste trabalho.

Posto isto, pode-se concluir que o AG é o melhor método para ser aplicado a problemas de pequena dimensão, pois apresenta uma melhor solução ótima para os três testes preliminares, por apresentar melhores tempos despendidos pelos enfermeiros nas visitas domiciliárias em relação aos resultados obtidos no Solver CPLEX, que apresenta tempos gastos relativamente dispendiosos para cada rota atribuída para os três testes preliminares abordados. Já o Solver CPLEX a nível de tempo de execução é o mais rápido em apresentar a solução em relação ao AG, ficando nos milésimos de segundo. Assim, tanto numa abordagem como na outra, apresentam resultados viáveis e aplicáveis para os testes preliminares, embora para problemas de pequena dimensão, a questão de eficácia do Solver CPLEX não é muito significativa, como se pode verificar, por exemplo, pelos tempos gastos no total das rotas obtidas para as visitas domiciliárias de cada teste preliminar.

Concluindo, a discussão entre estes resultados revela que quando há uma maior complexidade do problema, tanto o AG como o Solver CPLEX, encontram sempre uma solução ótima, porém quando se trata de problemas de maior complexidade, o Solver Cplex pode ter ou não capacidade de os resolver num tempo admissível, pois existem diversos algoritmos para resolver problemas de PL, em que a diferença está na eficácia computacional.

No que diz respeito aos resultados obtidos dos testes computacionais, também resolvidos pelo Solver CPLEX, foi proposto encontrar a solução ótima para cinco dias de visitas domiciliárias. De acordo com a solução obtida, esta nunca ultrapassou os 250 minutos para o Solver CPLEX, enquanto que o planeamento obtido pelo AG, era de 260 minutos. Embora seja uma diferença de dez minutos entre as soluções obtidas pelos diferentes abordagens, verifica-se uma ligeira melhoria no tempo total despendido. Ainda assim, aos 250 minutos, todos os enfermeiros regressam para o centro de saúde. É, ainda importante referir, que apesar de esta ser a solução obtida para o tempo despendido apresentado para os cinco dias de visitas domiciliárias, no dia 3 de visitas domiciliárias, ao analisar o planeamento obtido dos enfermeiros nas visitas domiciliárias, verifica-se que os Enfermeiros 3, 5 e 7 acabam as suas visitas após os 250 minutos. Isto acontece, porque para este dia de visitas domiciliárias houve dois tempos de execução do programa, em que no primeiro, o programa demora demasiado tempo a correr. Para isso, no segundo tempo de execução do programa, foi aplicado um tempo de paragem de trinta minutos numa das ferramentas do programa Solver CPLEX, de modo a obter ao fim desse tempo uma solução ótima que fosse próxima ou igual a 250 minutos. Assim, a solução ótima encontrada para este dia foi de 251 minutos. Esta aplicação, para além de ser viável e aceitável, permite que a Unidade de Saúde obtenha sempre mais do que uma solução, dando a possibilidade de haver outra vertente para os escalonamentos/planeamentos diários.

O Solver CPLEX permitiu resolver de forma eficiente o problema de programação de equipas de enfermeiros. Além disso, a solução ótima foi encontrada sem demora.

Esta abordagem representa um apreço para todas as pessoas envolvidas, profissionais de saúde, pacientes e cuidadores.

Por muito que os objetivos tenham sido alcançados e os resultados terem sido satisfatórios, no futuro, há ainda aspetos que podem ser melhorados para que os procedimentos ótimos de visitas domiciliárias em Unidades de Saúde possam ser ainda melhor. Uma perspetiva futura seria, reformular o problema e ter em conta o número de veículos disponíveis por enfermeiro na Unidade de Saúde, pois nem sempre todos os enfermeiros atribuídos

para um dia de visitas domiciliárias podem ter veículo disponível. Outra perspectiva, necessidade crucial pela Unidade de Saúde de Santa Maria, seria adaptar a metodologia e algoritmo desenvolvido numa aplicação web, em que todos os planeamentos e soluções obtidas seriam ponto de manipulação e gestão logística *online*, de fácil acesso e visualização em qualquer equipamento com internet.

Bibliografia

- [1] L. M. A. Oliveira, *Contextos do Serviço de Apoio Domiciliário*, Secção Autónoma Ciências da Saúde, Universidade de Aveiro, 2007.
- [2] INE, “Estimativas de População Residente em Portugal.”, *Destaque*, pages 1-13, 2018.
- [3] O. M. d. Saúde, ed., *Carta de Ottawa*, Ottawa, Canadá, nov. de 1986.
- [4] O. M. d. Saúde, ed., *Active Ageing: a policy framework*. Geneva: World Health Organization, 2002.
- [5] M. d. Saúde, *Cuidados Continuados Integrados nos Cuidados de Saúde Primários*, Carteira de Serviços, 2007.
- [6] S. Nickel, M. Schoöder e J. Steeg, “Mid - term and short - term planning support for home health care services”, *European Journal of Operational Research*, 219:574–587, 2011.
- [7] F. M. F. Alves, *Estudo sobre os Procedimentos Ótimos de Visitas Domiciliárias em Unidades de Saúde*. Instituto Politécnico de Bragança-Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2016.
- [8] S. I. C. M. Guedes, *Cuidar de Idosos com dependência em contexto domiciliário: necessidades formativas dos familiares cuidadores*, Escola Superior de Enfermagem do Porto, 2011.
- [9] S. N. d. Saúde, “Portugal deve “direccionar para o apoio domiciliário” muitos serviços prestados em hospitais.”, *Público*, maio de 2017.

- [10] M. Stanhope e J. Lancaster, *Enfermagem Comunitária: promoção da saúde de grupos, famílias e indivíduos*, 1.^a Ed. Lisboa: Lusociência, 1999, ISBN: 972-8383-05-3.
- [11] Nursing, “Cuidados Domiciliários, Uma modalidade de Intervenção”, *Revista Científica de Enfermagem*, dezembro de 2006.
- [12] C. Continuados, *A EQUIPA DE CUIDADOS CONTINUADOS INTEGRADOS - Orientações para a sua constituição nos centros de saúde*, Setembro de 2007.
- [13] *Decreto Lei 101/2006 de 6 de junho*, Rede Nacional de Cuidados Continuados Integrados, 2006.
- [14] *Decreto Lei 101/2006 de 6 de junho*, Diário da República, Lisboa de 2006.
- [15] L. Garcia, “Dependência em idosos”, *Nursing*, 78/79, 8-11, 1994.
- [16] d. O. Enfermeiros, ed., *Norma para o cálculo de dotações seguras dos cuidados de enfermagem*, 2014.
- [17] E. M. Silva, Américo, C. C. Leite, P. Cristina e D. Rosa, *Gestão em Logística Hospitalar: Novos Desafios para a Enfermagem do século XXI*, Anuário da Produção de Iniciação Científica Discente, Vol.13, N.21, 2012.
- [18] J. C. Carvalho e T. Ramos, *Logística na Saúde*. 3^o Edição. Lisboa: Edições Sílabo, LDA, 2016, ISBN: 978-972-618-844-5.
- [19] A. Duarte, *Introdução à Programação Linear com a OPL*, Instituto Politécnico de Bragança, 2015.
- [20] J. Nocedal e S. Wright, *Numerical Optimization*. New York: Springer Series in Operations Research. Springer, 1999, ISBN: 0-387-98793-2.
- [21] S. R. S. N. Cardoso, *Optimização de Rotas e da Frota Associada*, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- [22] A. Desconhecido, *Métodos de Otimização*.

- [23] J. Tavares, P. Machado e E. Pereira, *Vehicle Routing Problem: Doing it the Evolutionary Way, Proceedings of the 2003 ACM symposium on Applied computing*, 2002.
- [24] O. Braysy, P. Nakari, W. Dullaert e P. Neittaanmaki, “An optimization approach for communal home meal delivery service: A case study.”, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 232:46-53, 2009.
- [25] G. Dantzig e J. H. Ramser, “The truck dispatching problem”, *Management Science*, 6:80-91, 1959.
- [26] N. Christofides, A. Mingozzi e P. Toth, *Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations*. Mathematical programming, 20(1):pp 255-282, 1981.
- [27] P. Breslin e A. Keane, *He capacitated arc routing problem: Lower bounds*, University College Dublin, Management Information Systems Department, 1997.
- [28] P. Toth e D. Vigo, eds., *Vehicle routing: problems, methods, and applications, Volume 18*, Second Ed.: Copyright, 2014, ISBN: 978-1-611973-58-7.
- [29] J. Blecha e al., *The Vehicle Routing Problem With Backhauls: Properties and Solution Algorithms*, Georgia Tech Research Corporation, 1998.
- [30] Ghaziri e al., “Self-organizing feature maps for the vehicle routing problem with backhauls”, *Journal of Scheduling*, 9 (2), pp.97, 2006.
- [31] H. Min, “The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points”, *Transportation Research Part A*, 23 (5), pp.377, 1989.
- [32] A. Hoff, I. Gribkovskaia, G. Laporte e A. Løkketangen, “Lasso solution strategies for the vehicle routing problem with pickups and deliveries”, *European Journal of Operational Research*, Volume 192, pp.755, 2009.
- [33] G. Berbeglia, J. Cordeau, I. Gribkovskaia e G. Laporte, “Static pickup and delivery problems: a classification scheme and survey”, *TOP 15: business and economics*, 1-31, abril de 2007.

- [34] T. L. C. Silva, *Nova metodologia para resolução de problemas de transporte em casos esparsos*, UFPR, 2012.
- [35] J. J. Moré e S. J. Wright, *Optimization Software Guide*. Philadelphia, Pennsylvania: Second Printing, 1994, ISBN: 978-0-89871-322-0.
- [36] N. Karmarkar, “A new polynomial-time algorithm for linear programming”, *Combinatorica. Volume 4*, pp.373–395, dez. de 1984.
- [37] F. Nogueira, *Programação Inteira*.
- [38] A. H. Land e A. G. Doig, “An automatic method of solving discrete programming problems”, *Econometrica. Volume 28 (No.3)*. pp. 497–520, jul. de 1960.
- [39] J. D. C. Little, D. W. Murty Katta G. and Sweeney e C. Karel, “An algorithm for the traveling salesman problem”, *Operations Research. Volume 11 (No.6)*, pp.972–989, dezembro de 1963.
- [40] I. C. Lima e M. d. Santos, “Aplicação da Programação Matemática no Planejamento e Controle da Produção de uma Indústria Têxtil.”, Iniciativa da CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2016.
- [41] J. H. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence*. U Michigan Press, 1975.
- [42] J. Tanomaru, “Motivação, fundamentos e aplicações de algoritmos genéticos”, II Congresso Brasileiro de Redes Neurais, Curitiba, 1995.
- [43] A. O. Barboza, F. N. Junior, S. L. V. Bortolotti e R. A. Souza, “Programação Linear Inteira Mista e Algoritmo Genético Aplicados ao Problema de Transferência e Estocagem de Produtos em uma Indústria Pretolífera”, *Revista Eletrônica Sistemas e Gestão*, pages 561-574, abril de 2015.
- [44] H. N. Alves e R. C. Machado, “Um Algoritmo Genético para localização de faltas em redes aéreas radiais de distribuição de energia elétrica”, *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão*, 2010.

- [45] D. E. Goldberg, *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Boston, MA, USA: Addison Wesley Longman Publishing Co., 1989:pp.102, 1989, ISBN: 0201157675.
- [46] L. D. Bodin, “Twenty years of routing and scheduling”, *Operations Research Volume 38 (No.4)*, pp.571-579, agosto de 1990.
- [47] G. Laporte, “The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms”, *European Journal of Operational Research, Volume 59*, pp.345-358, jun. de 1992.
- [48] G. Laporte e I. H. Osman, “Routing problems: A bibliography”, *Annals of Operations Research, Volume 61*, pp.227-262, dezembro de 1995.
- [49] P. Toth e D. Vigo, *An overview of vehicle routing problems*. P. Toth and D. Vigo.: SIAM Monographs on Discrete Mathematics e Applications, pp.1-26, 2002a, ISBN: 978-0-89871-498-2.
- [50] L. Achutan N. R. and Cacceta e S. P. Hill, “A new subtour elimination constraint for the vehicle routing problem”, *European Journal of Operational Research, Volume 91*, pp.573-586, jun. de 1996.
- [51] P. Toth e D. Vigo, “Models, Relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem”, *Discrete Applied Mathematics Volume 123*, pp.487-512, nov. de 2002b.
- [52] T. K. Ralphs, L. Kopman, W. R. Pulleyblank e L. E. Trotter, “On the capacitated vehicle routing problem”, *Mathematical Programming Series B, Volume 94*, pp.343-359, jan. de 2003.
- [53] R. Baldacci, E. Hadjiconstantinou e A. Mingozzi, “An exact algorithm for the capacitated vehicle routing problem based on a two-commodity network flow formulation”, *Operations Research, Volume 52*, pp.723-738, outubro de 2004.

- [54] I. Kara, G. Laporte e T. Bektas, “A note on the lifted Miller-Tucker-Zemlin sub-tour elimination constraints for the capacitated vehicle routing problem”, *European Journal of Operational Research*, Volume 158, pp.793-795, nov. de 2004.
- [55] A. N. Letchford e J. J. Salazar-Gonzalez, “Projection results for vehicle routing”, *Mathematical Programming, Ser.B*, Volume 105, pp.251-274, outubro de 2006.
- [56] H. Yaman, “Formulations and valid inequalities for the heterogeneous vehicle routing problem”, *Mathematical Programming, Ser. A*, Volume 106, pp.365-390, jul. de 2006.
- [57] M. Desrochers, J. K. Lenstra e M. W. P. Savelsbergh, “A classification scheme for vehicle routing and scheduling problems”, *European Journal of Operational Research*, Volume 46, pp.322-332, jun. de 1990.
- [58] T. Caric e H. Gold, *Vehicle Routing Problem*, Tonci Caric. Croatia: In-Teh, 2008, ISBN: 978-953-7619-09-1.
- [59] I. Kara, B. Y. Kara e K. Yetis, *Energy minimizing vehicle routing problem. In A.Dress, Y.Xu and B.Zhu (Eds), Combinatorial Optimization and Applications, Volume 4616, pp.62-71*. China: Springer, 2007.
- [60] L. Gouveia, “A result on projection for the vehicle routing problem”, *European Journal of Operational Research*, Volume 85, pp.10-624, setembro de 1995.
- [61] A. Corberan, E. Fernandez, M. Laguna e R. Marti, “Heuristic solutions to the problem of routing school buses with multiple objectives”, *Journal of the Operational Research Society*, Volume 53, pp.427-435, abril de 2002.
- [62] A. J. Swersey e W. Ballard, “Scheduling school buses”, *Management Science*, Volume 30 (No.7), pp.844-853, jul. de 1984.
- [63] L. Li e Z. Fu, “The school bus routing problem: a case study”, *Journal of the Operational Research Society*, Volume 53, pp.552-558, maio de 2002.