

Escalonamento de Veículos para Realizar Visitas ao Domicílio em Unidades de Saúde

Marina Araújo de Matos

Relatório Final do Trabalho de Projecto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em
Tecnologia Biomédica

Escalonamento de Veículos para Realizar Visitas ao Domicílio em Unidades de Saúde

Marina Araújo de Matos

Relatório Final do Trabalho de Projecto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em
Tecnologia Biomédica

Orientadores:

Ana Isabel Pereira

Adília Fernandes

“Este Trabalho de Projecto inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri”.

Outubro de 2017

“A persistência é o menor caminho do êxito”. (Charles Chaplin)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à minha orientadora Ana Isabel Pereira, por todo o apoio durante todo este ano, pelas horas de trabalho investidas neste trabalho, pela orientação, incentivo e ensinamentos no decorrer deste e pela experiência que este projeto me permitiu ter.

Agradeço também ao colega Filipe Alves pelo apoio e ajuda na resolução deste projeto, assim como, no fornecimento dos dados reais para realização deste trabalho.

À orientadora Adília Fernandes, pela disponibilidade e ajuda prestada nos contextos de saúde.

À enfermeira Anabela Martins da Unidade de Saúde de Santa Maria de Bragança por fornecer informações reais e disponibilidade para incentivar a novas abordagens deste problema.

Agradeço também aos meus heróis, os meus pais, pois sem o apoio incondicional deles nunca conseguiria iniciar e terminar esta fase da minha vida. Obrigada por me compreenderem sempre, pelas palavras que me erguiam nos momentos mais complicados, pela confiança, pelo incentivo, pela amizade e por nunca me deixarem desistir dos meus objetivos.

Ao Marcelo, por todo o apoio que me deu, pelo amor e paciência. Muito obrigado.

À minha família que sempre me apoiou e acreditou no término desta minha etapa com sucesso.

Agradeço também aos meus amigos, que ao meu lado estiveram nos momentos mais difíceis e pela amizade.

Ao IPB, nomeadamente à ESTiG, por me proporcionarem todas as condições durante todos estes anos de estudo.

Dedico todo este trabalho a todos os que me apoiaram nesta etapa, inclusive à minha avó que, infelizmente, não conseguiu ver-me terminar esta fase da minha vida.

Resumo

Atualmente, em Portugal, a população está cada vez mais envelhecida. Assim sendo, os serviços de prestação de cuidados de saúde ao domicílio estão a tornar-se numa importante área de investigação.

As visitas ao domicílio têm vindo a crescer, de modo a proporcionar às pessoas incapazes de se mover até aos Centros de Saúde, um grande auxílio em tratar, cuidar e apoiar, procurando promover uma melhor qualidade de vida para estas pessoas.

Este serviço de saúde é realizado por profissionais de saúde, normalmente, enfermeiros. Habitualmente, as visitas são planeadas manualmente e sem apoio computacional.

Neste projeto pretende-se realizar o planeamento automático das visitas ao domicílio, da Unidade de Saúde de Bragança, uma vez que, nesta região o número de pessoas idosas está a aumentar.

O objetivo deste trabalho consiste em minimizar o tempo máximo gasto pelos veículos que transportam os profissionais de saúde até às habitações dos pacientes com necessidade de tratamentos, de modo a reduzir-se custos destas operações. Para isso, foi desenvolvida e testada uma modelação matemática, em que foi aplicada a dois algoritmos, o Algoritmo Genético e o Algoritmo de Enxame de Partículas.

Esta foi desenvolvida no *software* MatLab, permitindo resolver o problema eficazmente, onde se obteve soluções para cada dia da semana em estudo, 18 a 22 de abril de 2016. Em todos os escalonamentos obtidos pelos dois algoritmos, verificou-se uma grande melhoria, ou seja, uma redução do tempo total despendido pelos veículos, em relação aos escalonamentos desenvolvidos manualmente, pelo Centro de Saúde de Bragança.

Palavras chave: Otimização. Algoritmo Genético. Algoritmo de Enxame de Partículas. Cuidados Domiciliários.

Abstract

Nowadays, in Portugal, the population is increasingly aged. Therefore, household healthcare services are becoming an imposing research area.

Home visits have been growing, so as to provide people unable to move to health centers, a great help in treating, caring and supporting, seeking to promote a better quality of life for these people.

This health service is conducted by healthcare professionals, usually nurses. Usually, visits are planned manually and without support computational.

In this project, it aims to undertake the automatic planning of visits at patients home, by house teams of Bragança Health Unit, since in this region the number of elderly people are rising.

The objective of this work consists of minimizing the maximum time spent by the vehicles that transport healthcare professionals up to the dwellings of patients with need of treatments, so as to reduce costs of these operations. For this, it was developed and tested a mathematical modeling, in which it was applied to two algorithms, the Genetic Algorithm and the Particle Swarm Optimization Algorithm.

This was developed in the software "MatLab", enabling it to resolve the problem effectively, where it obtained solutions for each day of the week in study, April 18 to 22, 2016. In all the schedules obtained by both algorithms, a major improvement was found, i.e. a reduction in the total time spent by vehicles, in relation to manually developed schedules, by the Bragança Health Center.

Keywords: Optimization. Genetic Algorithm. Particle Swarm Optimization Algorithm. Home Care Visits.

Publicações

Publicação 1

Matos, M., Alves, F., Pereira, A. I., Fernandes, A., Leitão, P., Martins, A., Home Care Visits Schedule in a Healthcare Center through Genetic Algorithm: XVIII Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional 2017. Valença.

Publicação 2

Matos, M., Pereira, A. I., Fernandes, A., Escalonamento de Veículos para Realizar Visitas ao Domicílio em Unidades de Saúde, 5º Encontro de Jovens Investigadores do IPB 2017. Bragança.

Conteúdo

Índice de Tabelas	xv
Índice de Figuras	xvii
Lista de Abreviaturas	xxi
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Estrutura do relatório	2
2 A problemática das visitas dos profissionais de saúde ao domicílio e a otimização	5
2.1 O problema e a importância das visitas ao domicílio	5
2.2 Otimização	7
2.2.1 Como surgiu a otimização	7
2.2.2 O que é a otimização	8
2.2.3 Programação linear	10
2.2.4 Programação não-linear	10
2.2.5 Programação linear versus Programação não-linear	11
2.2.6 Otimização contínua	12
2.2.7 Otimização sem restrições	13
2.2.8 Otimização com restrições	13
2.2.9 Otimização local e Otimização global	14
3 Técnicas de otimização e modelação matemática do problema	15
3.1 Técnicas de otimização	15
3.1.1 Algoritmo Genético	15

3.1.2	Algoritmo de Enxame de Partículas	19
3.2	Técnicas já usadas anteriormente para a resolução de problemas relacionados com escalonamentos/agendamentos	21
3.3	Modelação matemática do problema	22
4	Casos de estudo	27
4.1	Definição dos casos de estudo	27
4.1.1	Caso de Estudo 1	27
4.1.2	Caso de Estudo 2	29
4.1.3	Caso de Estudo 3	30
4.2	Validação da Modelação Matemática	31
4.2.1	Testes para o Caso de Estudo 1	31
4.2.2	Testes para o Caso de Estudo 2	33
4.2.3	Testes para o Caso de Estudo 3	34
4.3	Resultados numéricos relativos aos casos de estudo	36
4.3.1	Resultados para o Caso de Estudo 1	36
4.3.2	Resultados para o Caso de Estudo 2	38
5	Caso real do Unidade de Saúde de Santa Maria de Bragança	45
5.1	Dados relativos ao caso real da USSMB	45
5.1.1	Dados relativos ao dia 18 de abril de 2016	48
5.1.2	Dados relativos ao dia 19 de abril de 2016	51
5.1.3	Dados relativos ao dia 20 de abril de 2016	53
5.1.4	Dados relativos ao dia 21 de abril de 2016	55
5.1.5	Dados relativos ao dia 22 de abril de 2016	57
5.2	Horários efetivos dos veículos da Unidade de Saúde de Bragança	59
5.3	Horários dos veículos obtidos pelo GA e PSO	62
5.3.1	Minimização do tempo máximo realizado nas visitas	62
5.3.2	Minimização do tempo máximo e quilómetros efetuadas para a realização de todas as visitas	75

5.3.3 Conclusão entre as duas abordagens	89
6 Conclusões e perspetivas futuras	91
Bibliografia	95

Lista de Tabelas

2.1	Comparação entre a programação linear e programação não-linear [27].	12
4.1	Tempo médio de cada tratamento em minutos.	27
4.2	Tratamentos necessários para cada paciente no Caso de Estudo 1.	28
4.3	Localidades de cada paciente no Caso de Estudo 1.	28
4.4	Tempo de viagem entre as várias localidades em minutos no Caso de Estudo 1. . .	29
4.5	Tratamentos necessários para cada paciente no Caso de Estudo 2.	29
4.6	Localidades de cada paciente no Caso de Estudo 2.	29
4.7	Tempo de viagem entre as várias localidades em minutos no Caso de Estudo 2. . .	30
4.8	Tratamentos necessários para cada paciente no Caso de Estudo 3.	30
4.9	Localidades de cada paciente no Caso de Estudo 3.	31
4.10	Tempo de viagem entre as várias localidades em minutos no Caso de Estudo 3. . .	31
5.1	Tempo médio de cada tratamento em minutos.	46
5.2	Abreviaturas dos nomes das localidades.	46
5.3	Dados sobre o tempo de viagem entre as diferentes localidades em minutos.	47
5.4	Dados sobre os quilómetros percorridos durante as viagens.	48
5.5	Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 18 de abril de 2016.	49
5.6	Localidades de todos os pacientes no dia 18 de abril de 2016.	50
5.7	Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 19 de abril de 2016.	51
5.8	Localidades de todos os pacientes no dia 19 de abril de 2016.	52

5.9	Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 20 de abril de 2016.	53
5.10	Localidades de todos os pacientes no dia 20 de abril de 2016.	54
5.11	Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 21 de abril de 2016.	55
5.12	Localidades de todos os pacientes no dia 21 de abril de 2016.	56
5.13	Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 22 de abril de 2016.	57
5.14	Localidades de todos os pacientes no dia 22 de abril de 2016.	58
5.15	Resultados para o dia 18, na Abordagem 1.	64
5.16	Resultados para o dia 19, na Abordagem 1.	67
5.17	Resultados para o dia 20, na Abordagem 1.	70
5.18	Resultados para o dia 21, na Abordagem 1.	72
5.19	Resultados para o dia 22, na Abordagem 1.	75
5.20	Resultados para o dia 18, na Abordagem 2.	78
5.21	Resultados para o dia 19, na Abordagem 2.	81
5.22	Resultados para o dia 20, na Abordagem 2.	84
5.23	Resultados para o dia 21, na Abordagem 2.	86
5.24	Resultados para o dia 22, na Abordagem 2.	89

Lista de Figuras

2.1	Mínimo da função $f(x)$ é o mesmo que o máximo de $-f(x)$ [32].	9
2.2	Etapas para a solução de problemas de otimização [27].	9
2.3	Função convexa [27].	11
2.4	Função côncava [27].	11
2.5	Gráfico de otimização contínua [37].	12
2.6	Otimização sem restrições [31].	13
2.7	Otimização com restrições [31].	13
2.8	Mínimos e máximos das otimização global e otimização local [1].	14
3.1	Microcalcificações na mama [3].	16
3.2	Artroplastia da haste femoral [28].	18
3.3	Algoritmo PSO [38].	21
3.4	Diagrama de rotas.	23
4.1	Horário dos carros no Caso de Estudo 1, Teste 1.	32
4.2	Horário dos carros no Caso de Estudo 1, Teste 2.	32
4.3	Horário dos carros no Caso de Estudo 2, Teste 1.	33
4.4	Horário dos carros no Caso de Estudo 2, Teste 2.	34
4.5	Horário dos carros no Caso de Estudo 3, Teste 1.	35
4.6	Horário dos carros no Caso de Estudo 3, Teste 2.	35
4.7	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 1, Testes 1 e 3.	37
4.8	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 1, Teste 2.	37
4.9	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 1, Teste 4.	38

4.10	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 2, Teste 1.	39
4.11	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 2, Teste 2.	39
4.12	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 2, Teste 3.	40
4.13	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 2, Teste 4.	40
4.14	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 3, Teste 1.	41
4.15	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 3, Teste 2.	42
4.16	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 3, Teste 3.	42
4.17	Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 3, Teste 4.	43
5.1	Horário do Centro de Saúde para o dia 18 de abril.	59
5.2	Horário do Centro de Saúde para o dia 19 de abril.	60
5.3	Horário do Centro de Saúde para o dia 20 de abril.	60
5.4	Horário do Centro de Saúde para o dia 21 de abril.	61
5.5	Horário do Centro de Saúde para o dia 22 de abril.	61
5.6	Horário dos carros para o dia 18 de abril com o GA, na Abordagem 1.	62
5.7	Horário dos carros para o dia 18 de abril com o PSO, na Abordagem 1.	63
5.8	Horário dos carros para o dia 19 de abril com o GA, na Abordagem 1.	65
5.9	Horário dos carros para o dia 19 de abril com o PSO, na Abordagem 1.	66
5.10	Horário dos carros, solução X_1 , para o dia 20 de abril com o GA, na Abordagem 1.	67
5.11	Horário dos carros, solução X_2 , para o dia 20 de abril com o GA, na Abordagem 1.	68
5.12	Horário dos carros para o dia 20 de abril com o PSO, na Abordagem 1.	69
5.13	Horário dos carros para o dia 21 de abril com o GA, na Abordagem 1.	70
5.14	Horário dos carros para o dia 21 de abril com o PSO, na Abordagem 1.	71
5.15	Horário dos carros para o dia 22 de abril com o GA, na Abordagem 1.	72
5.16	Horário dos carros, solução X_1 , para o dia 22 de abril com o PSO, na Abordagem 1.	73
5.17	Horário dos carros, solução X_2 , para o dia 22 de abril com o PSO, na Abordagem 1.	74
5.18	Horário dos carros para o dia 18 de abril com o GA, na Abordagem 2.	76
5.19	Horário dos carros para o dia 18 de abril com o PSO, na Abordagem 2.	77
5.20	Horário dos carros, solução X_1 , para o dia 19 de abril com o GA, na Abordagem 2.	79

5.21	Horário dos carros, solução X_2 , para o dia 19 de abril com o GA, na Abordagem 2.	79
5.22	Horário dos carros para o dia 19 de abril com o PSO, na Abordagem 2.	80
5.23	Horário dos carros para o dia 20 de abril com o GA, na Abordagem 2.	82
5.24	Horário dos carros para o dia 20 de abril com o PSO, na Abordagem 2.	83
5.25	Horário dos carros para o dia 21 de abril com o GA, na Abordagem 2.	85
5.26	Horário dos carros para o dia 21 de abril com o PSO, na Abordagem 2.	85
5.27	Horário dos carros para o dia 22 de abril com o GA, na Abordagem 2.	87
5.28	Horário dos carros para o dia 22 de abril com o PSO, na Abordagem 2.	88

Lista de Abreviaturas

CS	Centro de Saúde
CVRP	<i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i> (Problema de Roteamento de Veículos)
GA	<i>Genetic Algorithm</i> (Algoritmo Genético)
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i> (Algoritmo de Enxame de Partículas)
TS	<i>Tabu Search</i>
USB	Unidade de Saúde de Bragança
USSMB	Unidade de Saúde de Santa Maria de Bragança

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Os serviços de cuidados de saúde ao domicílio (HHC – *Home HealthCare*) são cada vez mais importantes para a atual sociedade. Em Portugal, por exemplo, existe um elevado número de idosos, sendo por isso, necessário estudar novos métodos para solucionar problemas de saúde para estas pessoas.

Para muitas destas pessoas é impossível a sua deslocação aos hospitais, centros de saúde, laboratórios, entre outros serviços de saúde, devido a vários motivos, sendo estes, a sua mobilidade reduzida, a distância elevada das habitações aos locais de saúde, questões financeiras ou até as suas habitações serem em zonas isoladas. Para que estes idosos possam ter os tratamentos necessários sem se deslocarem das suas casas, são os profissionais de saúde a deslocarem-se às suas habitações [35].

Para solucionar esta questão, é necessário recorrer a uma melhor compreensão do material necessário para os serviços de cuidados domiciliários e uma melhor gestão destes serviços. Segundo estudos já realizados, este trabalho de otimização contribui para uma melhor caracterização dos serviços de cuidados domiciliários e para obter modelos para posteriores decisões [36].

Este trabalho consiste em solucionar um problema comum nos hospitais, sendo este o roteamento de veículos para que os profissionais de saúde possam fazer visitas ao domicílio, de modo a

haver mais organização e menores custos para os hospitais.

A prestação de cuidados de saúde ao domicílio, dos hospitais às habitações dos pacientes, incluem o transporte de medicamentos ou dispositivos médicos entre o hospital e as casas dos pacientes, a entrega de medicamentos especiais do hospital para os pacientes e entrega de amostras de sangues de pacientes para o laboratório de análises. Cada paciente tem um certo número de visitas e tem um conjunto de combinações possíveis de dias de visita.

Este escalonamento diário de veículos deve realizar os serviços, entre pacientes, hospital e laboratório, dentro do tempo estipulado, de modo a que as visitas e tempo gasto nas viagens e nos tratamentos sejam respeitados pelos profissionais de saúde. O problema é determinar os dias de visita de cada paciente e definir as rotas realizadas pelos veículos para cada dia, de modo a minimizar os custos de deslocação, entre outras restrições [20, 33].

Neste trabalho irão ser apresentados dois problemas, em que o primeiro consistiu em apresentar na solução o tempo gasto pelos veículos, tendo este sido apresentado ao Centro de Saúde de Bragança. O segundo problema foi proposto pelo Centro de Saúde de Bragança, em que sugeriram, para além do tempo gasto pelos veículos nas rotas para as visitas domiciliárias, acrescentar o número de quilómetros gastos por estes mesmos veículos. Os escalonamentos obtidos neste trabalho para o caso real, são de uma semana, ou seja, do dia 18 ao 22 de Abril de 2016.

Foram utilizados dois algoritmos neste trabalho, o *Genetic Algorithm* (GA) e o Algoritmo *Particle Swarm Optimization* (PSO), para a obtenção dos resultados do caso real. Também são apresentados neste projeto os resultados manuais do Centro de Saúde de Bragança, de modo a serem depois comparados com os resultados dos dois algoritmos.

Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos pelo Centro de Saúde de Bragança.

1.2 Estrutura do relatório

Este relatório encontra-se dividido em seis capítulos:

No primeiro capítulo é apresentada uma breve introdução a este projeto.

No segundo capítulo é realizada uma contextualização do problema das visitas ao domicílio, uma vez que, nesta Unidade de Saúde, em Bragança, é notório o número elevado de idosos que necessitam de cuidados nas suas casas. É também descrita uma breve e sucinta revisão da literatura sobre a otimização.

No terceiro capítulo são apresentados os dois algoritmos utilizados neste trabalho, o Algoritmo Genético e o Algoritmo de Enxame de Partículas, e a modelação matemática do problema em questão.

No quarto capítulo é definido o modelo e as duas abordagens matemáticas utilizadas para aplicação e resolução de diferentes casos de estudo, de modo a avaliar e validar a metodologia desenvolvida, para ser utilizada posteriormente no caso real.

No quinto capítulo é apresentado um problema real, em duas abordagens, em que se pretende obter o escalonamento dos veículos utilizados nas visitas domiciliárias na Unidade de Saúde de Santa Maria de Bragança (USSMB). As soluções obtidas pelos dois algoritmos são comparadas com o planeamento utilizado atualmente.

Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as devidas conclusões e perspetivas para possíveis aplicações futuras.

Capítulo 2

A problemática das visitas dos profissionais de saúde ao domicílio e a otimização

2.1 O problema e a importância das visitas ao domicílio

Atualmente, o número de idosos está a aumentar cada vez mais na Europa, inclusive em Portugal, sendo por isso necessário melhorar as variantes dos serviços de cuidados de saúde ao domicílio. Este tipo de serviços permite manter no seu ambiente familiar, pessoas frágeis, para que possam receber ajuda de profissionais [7, 35].

O aumento do número de idosos, deve-se à mudança demográfica devido à diminuição da taxa de natalidade e ao aumento da esperança de vida. Além disso, cada vez mais se verifica que os membros de família se afastem do seu local de nascimento, deslocando-se para outras cidades a fim de encontrar empregos, enquanto que os idosos ficam na sua cidade/aldeia de origem. Por isso, a prestação de cuidados domiciliários para estes idosos seja cada vez mais importante para a nossa sociedade [22].

Esta questão é muito importante, uma vez que, muitas destas pessoas idosas têm mobilidade

limitada ou até necessitam de suplementos médicos (ex. diabéticos), sendo por isso, relevante existirem agendas organizadas para que todos os intervenientes em questão sejam beneficiados, nomeadamente hospitais, profissionais de saúde e laboratórios. Ou seja, reduzir custos das viagens, reduzir tempo entre distâncias de viagens. É também conveniente que os profissionais de saúde, geralmente enfermeiros, terem o seu horário organizado para promover a qualidade da prestação de serviços de cuidados de saúde ao domicílio.

A Unidade de Saúde de Santa Maria de Bragança tem como tarefa providenciar aos habitantes do concelho de Bragança cuidados básicos de saúde (por exemplo, tratamento de úlceras, pensos, monitorizações do utente, apoio ao paciente, entre outras) ao domicílio.

Bragança é atualmente uma das regiões de Portugal com um maior número de idosos, principalmente nas várias aldeias pertencentes a este distrito. Este problema leva a que sejam cada vez mais, necessários tratamentos ao domicílio, tendo-se também a necessidade de aumentar o número de profissionais para realizarem estes serviços. Por isso, de modo a diminuir os custos envolvidos, é necessário procurar estratégias que diminuam os gastos nestes serviços, sem que prejudique a qualidade destes.

O escalonamento de veículos é uma das estratégias que permite a redução de custos dos veículos nas suas rotas. Este tema será abordado e detalhado nos Capítulos 4 e 5.

Existem vários exemplos de escalonamentos, na área da saúde, sendo alguns deles apresentados seguidamente.

A Cruz Vermelha de Amadora – Sintra presta um serviço de transporte de doentes programados seguindo um determinado padrão até o tratamento estar finalizado. Estes pacientes necessitam de tratamentos planeados, como hemodiálise ou fisioterapia. Para isso, é necessário melhorar estes serviços, como rotas e veículos, de modo a que satisfaça as necessidades de todos os doentes, respeitando os seus horários (tempo de tratamento) e as capacidades de transporte das ambulâncias [21].

A *Urgences Santé* é uma agência pública responsável pela coordenação de ambulâncias em

Montréal, Canadá. Esta tem como objetivo melhorar a qualidade nos serviços de cuidados urgentes, de modo a diminuir o tempo de espera nos hospitais e fornecer um agendamento aos técnicos de acordo com o total de ambulâncias.

A *Urgences Santé* tem dois tipos de chamadas que necessitam de transporte ambulatorio, chamadas feitas pelo público e chamadas realizadas pelos hospitais. As ambulâncias são necessárias para transporte de doentes das suas casas para hospitais quando são solicitadas, assim como, os hospitais possam precisar destas para fazerem transferências de doentes de um hospital para outro [8].

2.2 Otimização

2.2.1 Como surgiu a otimização

Os métodos de otimização foram primeiramente estudados por Newton, Lagrange e Cauchy. Foi este último que apresentou pela primeira vez um método de otimização, que exigia derivadas das funções, em 1847. No entanto, apenas em 1960 no Reino Unido, é que foram obtidos os principais desenvolvimentos na área de métodos numéricos de otimização, por Zoutendijk e Rosen. O cientista George Dantzig desenvolveu o método simples para solucionar problemas de transporte e distribuição. Duffin, Zener e Peterson, desenvolveram a programação geométrica [32].

Os computadores possibilitaram a resolução de grandes problemas, permitindo com que o grande desenvolvimento de novos métodos matemáticos acontecesse ao par dos desenvolvimentos da tecnologia.

Atualmente existem também os métodos modernos de otimização, também chamados de métodos de otimização não-tradicionais. Estes têm surgido ao longo dos últimos anos, como métodos poderosos e populares para resolver problemas complexos de otimização na engenharia. Estes métodos não-tradicionais incluem algoritmos genéticos (algoritmos de busca e otimização baseados na mecânica da genética e seleção natural, originalmente propostos por John Holland em 1975),

otimização de enxame de partículas (imitam o comportamento de organismos sociais, proposto por Kennedy e Eberhard em 1995), otimização da colônia de formigas (comportamento das formigas nas suas funções, como encontrarem o caminho mais curto para o seu ninho, desenvolvido por Marco Dorigo em 1992), otimização em rede neural (verifica o poder computacional do sistema nervoso, proposto por Hopfield e Tank em 1985) e otimização *fuzzy* (resolve problemas de engenharia, desenvolvido por Rao em 1986).

A otimização pode ser aplicada em uma vasta lista de problemas, como por exemplo, projetos de engenharia civil, planeamento de viagens, encontrar as melhores trajetórias de veículos espaciais, encontrar o peso mínimo em projetos de estruturas para terremotos e vento, encontrar o caminho mais curto de um vendedor, controlo de tempos de espera em locais ou em linhas de produção de modo a reduzir os custos, entre outros exemplos [32].

2.2.2 O que é a otimização

A otimização baseia-se em obter o melhor resultado (solução ótima), num conjunto de soluções, para cada problema proposto, ou seja, determinar a melhor configuração para uma determinada situação sem ter que testar todas as possibilidades envolvidas, reduzindo tempo, custos, entre outros benefícios [27].

Em qualquer sistema de engenharia, os engenheiros têm que tomar várias decisões tecnológicas em várias fases para a otimização do problema, tendo como objetivo principal, minimizar o esforço requerido ou maximizar o benefício pretendido. Para este fim, é utilizada uma função com várias variáveis de decisão. Como se pode visualizar na Figura 2.1, dado um ponto x^* (minimizante da função), verifica-se que este também corresponde ao máximo do negativo da função $f(x)$ [32].

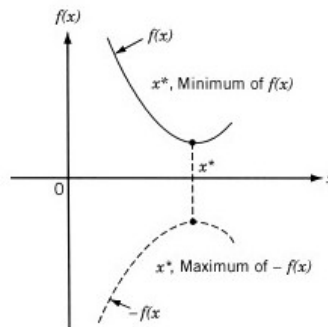


Figura 2.1: Mínimo da função $f(x)$ é o mesmo que o máximo de $-f(x)$ [32].

Um problema de otimização pode ser definido da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 \min \quad & f(x) \\
 \text{s.a} \quad & c_j(x) = 0, j \in I \\
 & c_k(x) \leq 0, k \in D \\
 & l_i \leq x_i \leq u_i, i = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

onde, $f(x)$ representa a função objetivo, isto é, a função que se pretende otimizar (maximizar ou minimizar), x representa o vetor das variáveis, c representa o vetor das restrições (apresentam situações impossíveis à resolução do problema), I e D representam o conjunto de índices das restrições de igualdade e desigualdade, respetivamente [31]. Cada problema tem uma determinada região admissível, onde podem ser encontradas todas as soluções possíveis do problema em estudo.

Para a solução de problemas de otimização é necessário analisar algumas etapas, como se podem visualizar na Figura 2.2.

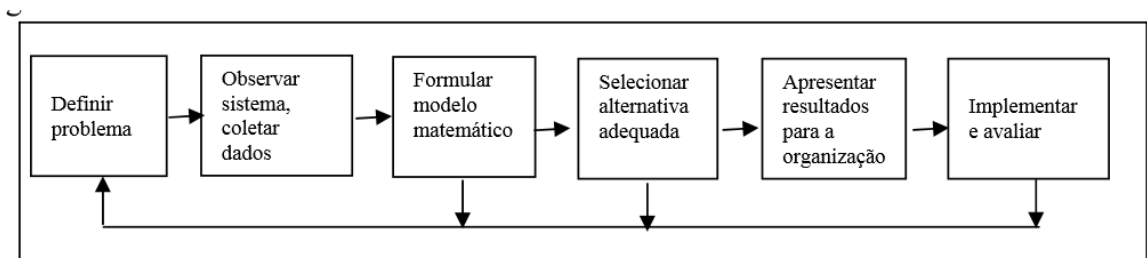


Figura 2.2: Etapas para a solução de problemas de otimização [27].

Os problemas de otimização têm diversas classes específicas, sendo estas limitadas pelo tipo de restrições a que estão sujeitos. As classes mais conhecidas deste tipo de problemas são as que estão sujeitas a restrições como as da equação (2.1). Existem outros problemas de programação não-linear, em que a solução é um conjunto de inteiros e outros objetos discretos, como por exemplo, problemas de atribuição de tarefas, problemas com a atribuição de rotas para veículos, problemas de escalonamento em geral, etc. [34].

Os problemas de otimização abordados pelos métodos clássicos podem ser classificados em duas classes, conforme as características da função objetivo e das restrições, sendo apresentados a seguir [24].

2.2.3 Programação linear

A programação linear estuda os problemas de otimização em que a função que se pretende otimizar (função objetivo) é linear e está sujeita a restrições (normalmente inequações lineares), ou seja, definido por expressões lineares pretendendo-se obter o ótimo de uma função linear num determinado conjunto. Este tipo de problemas ocorrem em diversas situações reais, como gestão de empresas, problemas de transportes, planeamento agrícola, entre outros [26].

2.2.4 Programação não-linear

A programação não-linear é definida quando a função objetivo, ou pelo menos uma das restrições, é uma função não-linear das variáveis. Neste tipo de programação para determinar o ótimo da função, é necessário analisar a concavidade ou convexidade desta.

- Diz-se função convexa quando a linha que une dois pontos se encontra acima da função, como se verifica na Figura 2.3;

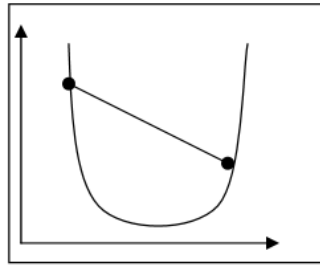


Figura 2.3: Função convexa [27].

- Uma função côncava é definida quando a linha que une dois pontos se encontra abaixo da função, como se verifica na Figura 2.4 [27].

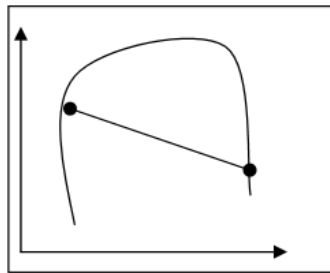


Figura 2.4: Função côncava [27].

2.2.5 Programação linear versus Programação não-linear

Nos problemas de programação linear é possível garantir que a solução encontrada é ótima. Já quando se trata de programação não-linear não é possível afirmar que a solução encontrada é ótima sem uma análise de concavidade ou convexidade da função.

Na Tabela 2.1 pode-se verificar as principais diferenças da abordagem linear e não-linear.

Tabela 2.1: Comparação entre a programação linear e programação não-linear [27].

Questão	Programação linear	Programação não-linear
<i>Representação do problema</i>	Limitada, uma vez que não considera aspetos causadores de não-linearidade, tais como: eficiência e ineficiência de produções em distintas escalas e efeitos de quantidade de venda nos preços unitários.	Abrangente à medida que incorpora os aspetos desvalorizados na PL.
<i>Nível de Complexidade</i>	Baixo, devido à abordagem restrita do problema.	Alto, pois a abordagem é mais complexa.
<i>Custo da Aplicação</i>	Baixo	Alto
<i>Aplicabilidade</i>	Problemas com uma área restrita de soluções possíveis e boa visualização do posicionamento da solução ótima, permitindo uma aproximação linear satisfatória.	Problemas com uma vasta área de soluções possíveis e não existe uma boa visualização do posicionamento da solução ótima, dificultando uma aproximação linear satisfatória.
<i>Nível de cuidado na análise dos resultados</i>	Alto	Baixo, em virtude à inclusão de aspetos que causam a não-linearidade.

2.2.6 Otimização contínua

A otimização contínua é aplicada em problemas em que a solução é procurada num conjunto de objetos infinito, como se pode verificar na Figura 2.5. Estes problemas são mais simples de resolver em relação aos de otimização discreta (onde as variáveis apenas variam num conjunto discreto) uma vez que, a suavidade destas funções permitem a utilização de informações objetivas e das restrições, num determinado ponto x , de modo a obter-se informação sobre o comportamento da função em todos os pontos próximos de x [39].

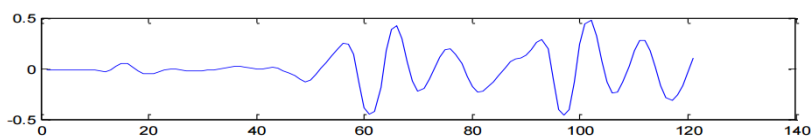


Figura 2.5: Gráfico de otimização contínua [37].

2.2.7 Otimização sem restrições

Os problemas sem restrições, como se visualiza na Figura 2.6, ocorrem em muitas aplicações práticas, uma vez que, muitas vezes as condições sobre as variáveis são ignoradas e é seguro assumir que estas não têm qualquer efeito sobre a solução [39].

Este tipo de otimização tem como objetivo minimizar uma função objetivo que apenas depende de variáveis reais, não havendo nenhuma restrição no problema.

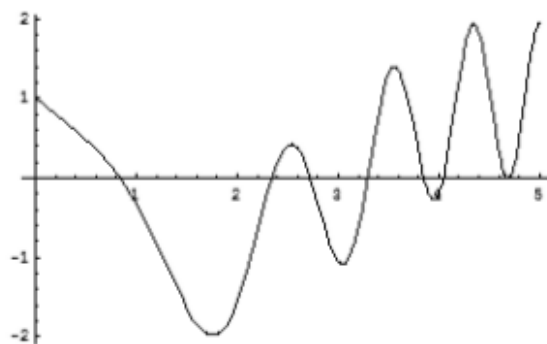


Figura 2.6: Otimização sem restrições [31].

2.2.8 Otimização com restrições

Os problemas com restrições, como se pode verificar na Figura 2.7, surgem em situações com restrições sobre as variáveis. Estas podem ser de limites simples ou inequações não lineares ou lineares, que representam uma relação complexa entre as variáveis [39].

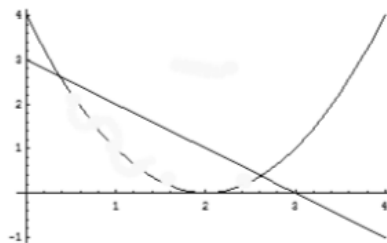


Figura 2.7: Otimização com restrições [31].

2.2.9 Otimização local e Otimização global

A otimização global é definida por encontrar sempre a melhor solução no conjunto de todas as soluções possíveis de um problema, independentemente das condições iniciais do problema, sendo necessário um maior poder de computação em relação à otimização local.

Já a otimização local tem como objetivo identificar um mínimo qualquer da função a otimizar [4, 39].

A diferença entre mínimo local e mínimo global pode ser ilustrada através da Figura 2.8.

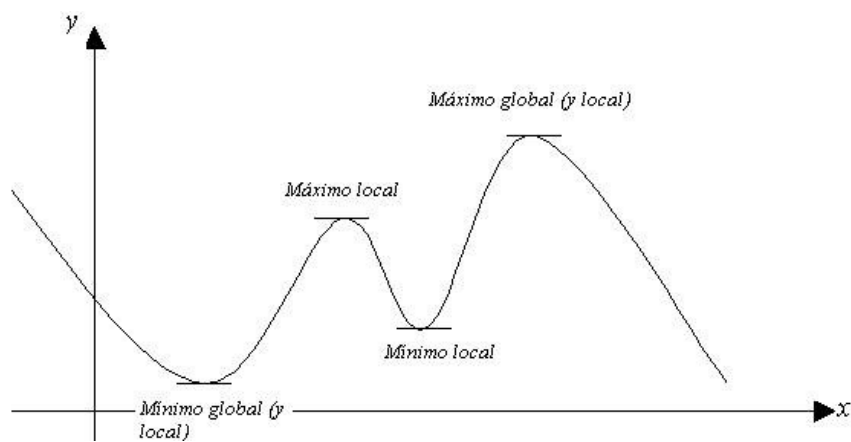


Figura 2.8: Mínimos e máximos das otimização global e otimização local [1].

Capítulo 3

Técnicas de otimização e modelação matemática do problema

3.1 Técnicas de otimização

3.1.1 Algoritmo Genético

O Algoritmo Genético ou *Genetic Algorithm* (GA) foi proposto por John Holland [13].

Algoritmo Genético é um método de pesquisa global, inspirado na evolução biológica natural. Neste tipo de algoritmos, em cada iteração todos os membros são testados com uma determinada aptidão, sendo que os com menor aptidão vão sendo eliminados ficando apenas os com melhor aptidão. Os algoritmos genéticos operam numa determinada população de soluções (indivíduos), onde ocorre um *crossover* entre dois diferentes indivíduos, ou mutação em um determinado indivíduo. Após estas operações obtém-se uma segunda geração de indivíduos com melhores propriedades. Esta segunda geração é testada e ocorre a eliminação de casos com menor aptidão, que possam ter surgido, mantendo-se os indivíduos. Repete-se o *crossover* das novas gerações até que a diversidade desejada de soluções seja realizada [13, 23].

O Algoritmo Genético aplicado neste trabalho é resumido pelo seguinte algoritmo.

Algorithm 1 : Algoritmo Genético

- 1: Gera uma população de indivíduos aleatória, \mathcal{P}^0 , com dimensão N_{pop} . Com $k = 0$.
 - 2: **while** o critério de paragem não for atendido **do**
 - 3: $\mathcal{P}' =$ Aplica-se o procedimento de *crossover* na população \mathcal{P}^k .
 - 4: $\mathcal{P}'' =$ Aplica-se o procedimento de mutação na população \mathcal{P}^k .
 - 5: $\mathcal{P}^{k+1} = N_{pop}$ melhores indivíduos de $\{\mathcal{P}^k \cup \mathcal{P}' \cup \mathcal{P}''\}$.
 - 6: $k = k + 1$.
-

Para mais detalhes sobre a implementação do GA pode ser consultado o trabalho [9]. Para o critério de paragem considerou-se o número de avaliação da função ser superior a um determinado valor.

Existem muitas aplicações deste algoritmo, sendo muito utilizado, por exemplo, na medicina. Serão apresentados a seguir alguns exemplos de aplicações do GA nesta área.

Algoritmo Genético na Radiologia

Karnan e Thangavel [16] aplicaram o Algoritmo Genético para detetar microcalcificações em mamogramas no cancro da mama, como podemos ver na Figura 3.1. Através deste método, após ter sido realizado o processamento das mamografias, é possível identificar assimetrias sugestivas entre as imagens, podendo indicar uma possível patologia mamária, como por exemplo, cancro da mama [13].

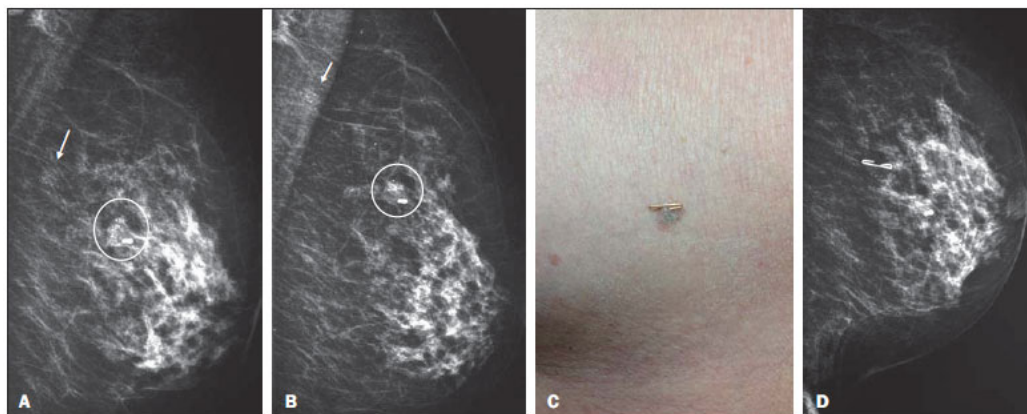


Figura 3.1: Microcalcificações na mama [3].

Algoritmo Genético na Cardiologia

Na Cardiologia o Algoritmo Genético é aplicado em diversas situações, como por exemplo na detecção de ateromas, que são responsáveis pela maioria de enfartes do miocárdio e acidentes vasculares cerebrais (AVC's). Para a detecção destas patologias é necessário a determinação das propriedades mecânicas, como a elasticidade, permitindo aos médicos localizar melhor e mapear placas vulneráveis ou instáveis.

Khalil AS, Bouma BE e Kaazempur Mofrad MR [17] aplicaram o GA para estimar parâmetros necessários para a quantificação de elasticidade do tecido.

Posteriormente, Zhou X, Wang H, Wang J, Wang Y, Hoehn G e Azok J [40] utilizaram uma versão melhorada do GA suportado por uma técnica de aprimoramento flutuante local recursiva para prever o risco de um evento adverso cardíaco. Esta técnica foi capaz de selecionar um painel de sete proteínas incluindo mieloperoxidase para prever o risco de eventos cardíacos com 77% de precisão, onde superou vários métodos atuais [13].

Algoritmo Genético na Endocrinologia

Atualmente verifica-se cada vez mais o aumento de problemas endócrinos, como a hipoglicemia. Esta é muito comum nos pacientes com diabetes mellitus tipo 1, tendo que ser aplicada insulina na sua terapia. A hipoglicemia pode provocar alterações nos padrões de eletroencefalogramas (EEG's). Para a detecção desta patologia, Nguyen LB, Nguyen AV, Ling SH e Nguyen HT [29] aplicaram o GA com base nos sinais de EEG [13].

Algoritmo Genético na Pediatria

Cardiotocografia é uma técnica barata e não-invasiva para avaliar o ritmo cardíaco fetal e contrações uterinas para determinar o bem-estar fetal [13]. Ocak [30] aplicou o Algoritmo Genético para selecionar as características ideais de gravações de cardiotocograma. Os resultados mostraram que o GA permitiu obter o estado de saúde do feto como normal ou anormal, com 99,3% e 100%

de precisão, respetivamente, sendo superior a outras técnicas utilizadas para o mesmo objetivo.

Em outro caso Latkowski e Osowski [18] utilizaram o GA para reconhecer o autismo, que é uma doença de desenvolvimento neurológico que aparece na infância e é caracterizada por perturbações de funcionamento social e comunicação verbal e não-verbal e comportamento repetitivo. Com o algoritmo genético determinaram quais os genes responsáveis por esta doença.

Lin et al. [19] aplicaram o GA para detetar os genes responsáveis pela leucemia linfoblástica aguda, uma vez que, é o tipo mais comum de leucemia em crianças e tem vários subtipos. A técnica proposta alcançou uma precisão de 100% e usou menos genes discriminadores em comparação com outros métodos.

Algoritmo Genético na Ortopedia

A Engenharia Biomédica tem oferecido grandes soluções para o campo da cirurgia ortopédica. A Artroplastia total de quadril ou *Total hip arthroplasty* (THA), como se pode ver na Figura 3.2, melhorou a gestão de várias doenças incapacitantes da articulação do quadril. Ishida T, Nishimura I, Tanino H, Higa M, Ito H e Mitamura Y [15] utilizaram o Algoritmo Genético de modo a projetar uma geometria otimizada da haste femoral.

Também o GA tem sido muito usado para selecionar o melhor projeto de parafusos de fixação da tibia para reduzir a probabilidade de quebra do parafuso.

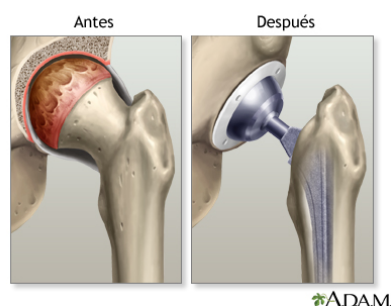


Figura 3.2: Artroplastia da haste femoral [28].

Algoritmo Genético na Gestão da Saúde

Na Saúde é muito importante aplicar técnicas para serem reduzidos os custos, tempo de espera, tempo de tratamentos, tempo de viagens, entre outros.

É relevante haver uma boa gestão hospitalar, como a satisfação e custos de cada paciente. Para isso, foi aplicado um modelo matemático recorrendo a um GA, de modo a melhorar o agendamento dos pacientes de Oftalmologia. Obteve-se com sucesso um algoritmo capaz de encurtar a lista de espera dos pacientes, baixou a taxa de pacientes nos corredores hospitalares, reduziu o tempo de espera pré-operatória para pacientes e aumentou o número de pacientes atendidos no hospital.

A rotação dos profissionais de saúde com base nas suas aptidões de trabalho é importante na manutenção de habilidades de trabalho e competência. Por isso, utilizou-se o GA para melhorar a programação de rotação de pessoal num laboratório clínico. Este software foi capaz de realizar a rotação de pessoal efetivamente, garantindo a manutenção de técnicas e competências, economizando tempo e o custo necessário para o processo de escalonamento [13].

3.1.2 Algoritmo de Enxame de Partículas

O Algoritmo de Enxame de Partículas foi desenvolvido por Eberhart e Kennedy em 1995 [10] denominado de *Particle Swarm Optimization* (PSO). Este algoritmo baseia-se na simulação do comportamento social de um bando de pássaros em bando, com movimento aleatório, isto é, o PSO é um algoritmo que procura encontrar valores ideais e segue a sociedade animal que trabalha em equipa, e não com um líder [6].

Tal como em outros algoritmos também o PSO tem uma população de indivíduos, sendo que em vez de utilizar operadores genéticos, estes evoluem através da cooperação e competição entre si, durante diversas gerações, ou seja, progredem através da experiência durante a busca de um determinado alvo (comida, local de descanso, etc.) [6].

Kennedy *et al.* (2001) utilizaram três princípios para resumir o processo de adaptação cultural [11]:

- *Avaliar* - os indivíduos possuem a capacidade de sentir o ambiente de maneira a prezar o seu próprio comportamento;
- *Comparar* - os indivíduos usam-se uns aos outros como referência comparativa;
- *Imitar* - a imitação é central em organizações sociais humanas e é importante para a aquisição e manutenção das habilidades mentais.

O PSO inicia-se com um grupo de partículas aleatórias, sendo de seguida encontrada a solução ideal através de várias iterações em cada geração aleatória. Durante as iterações, as partículas vão atualizando a sua posição e velocidade [5], isto é, uma partícula p_i move-se numa determinada direção iniciando o seu percurso na sua posição atual $x_i(k)$, a uma velocidade $v_i(k)$, parando depois quando é encontrada uma posição da partícula que leva ao seu melhor desempenho (p_B) e ao seu melhor desempenho global até o momento (g_B). A velocidade da partícula é dada por:

$$v_i(k + 1) = v_i(k) + \phi_1 \times (p_B - x_i(k)) + \phi_2 \times (g_B - x_i(k)) \quad (3.1)$$

onde ϕ_1 e ϕ_2 são constantes limitadas num intervalo finito, em que Kennedy denomina-os como sendo respetivamente os componentes “cognitivo” (aprendizagem individual) e “social” (transmissão cultural). A posição da partícula i é calculada, utilizando a velocidade $v_i(k + 1)$, da seguinte forma:

$$x_i(k + 1) = x_i(k) + v_i(k + 1). \quad (3.2)$$

O Algoritmo de Enxame de Partículas aplicado neste projeto resume-se no seguinte algoritmo.

Algorithm 2 : Algoritmo de Enxame de Partículas

- 1: Gera uma população de indivíduos aleatória, \mathcal{P}^0 , com dimensão N_{pop} . Com $k = 0$.
 - 2: **while** o critério de paragem não for atendido **do**
 - 3: Atualiza o p_B e o g_B .
 - 4: Atualiza a velocidade de cada ponto de acordo com a equação (3.1).
 - 5: Atualiza cada ponto $x_i(k + 1)$ de acordo com a equação (3.2). \mathcal{P}^{k+1} é constituída por todos os pontos $x_i(k + 1)$.
 - 6: $k = k + 1$.
-

Para mais informação sobre a implementação do PSO pode ser consultado o trabalho [9]. Para o critério de paragem considerou-se o número de avaliação da função ser superior a um determinado valor.

Na Figura 3.3, está representada a estrutura do PSO, onde dois membros, i e j , têm uma velocidade ($v_i(t)$) e uma posição inicial ($x_i(t)$), sendo percorrida a menor distância a uma melhor velocidade para a melhor partícula, obtendo-se assim a melhor solução.

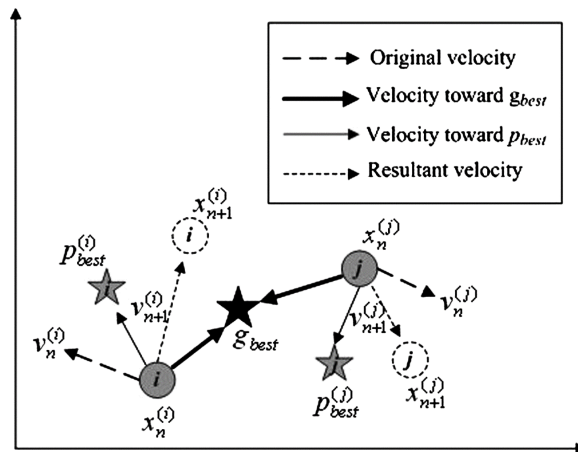


Figura 3.3: Algoritmo PSO [38].

3.2 Técnicas já usadas anteriormente para a resolução de problemas relacionados com escalonamentos/agendamentos

O *Genetic Algorithm* (GA) foi aplicado num problema indicado pela Unidade de Saúde de Santa Maria de Bragança, onde foi necessário criar uma agenda automática para os enfermeiros realizarem visitas ao domicílio, de modo a fornecer aos utentes, os tratamentos necessários. Assim, resolveu-se esta questão através do GA, permitindo uma maior organização e diminuição de custos entre os enfermeiros, hospital e visitas ao domicílio [7].

O algoritmo *Tabu Search* (TS) baseia-se num método heurístico que tenta resolver problemas desafiadores no campo de otimização e foi por Glover em 1986. O objetivo é identificar as melhores

decisões ou ações, a fim de maximizar alguma medida de mérito (como maximizar o lucro, eficácia, qualidade e benefício social ou científico) ou para minimizar alguma medida de mérito (custo, ineficiência, resíduos, e social ou perda científica) [14]. É utilizado em vários problemas de otimização, uma vez que, este método é um dos mais eficazes para obter boas soluções em problemas combinatórios existentes em muitos ambientes práticos.

Este consiste em obter a solução num determinado espaço, ou seja, move a solução atual para uma outra solução na sua vizinhança [20]. Consegue suportar, por exemplo, a programação diária de enfermeiros, no seu dia-a-dia e desastres (ex. vagas de calor, pandemias, etc.) que possam ocorrer [35].

O TS é aplicado num dos problemas mais estudados na literatura de otimização combinatória, sendo este o *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Ele é definido por $G = (V, A)$, em que G é uma variável, V um conjunto de vértices e A é um conjunto de arcos [12].

3.3 Modelação matemática do problema

Neste tipo de problema, encontram-se várias variáveis, sendo elas: o número total de enfermeiros que podem realizar as visitas, o número total de pacientes que precisam de tratamentos nas suas casas, o número total de veículos disponíveis para realizarem as visitas ao domicílio e todas as diferentes localizações dos pacientes. É também necessária a descrição de cada tratamento realizado pelo enfermeiro. O tempo e a distância entre as localidades, o(s) tratamento(s) necessário(s) para cada paciente e o tempo preciso para cada tratamento realizado são também outras variantes importantes para este problema [7].

Para uma melhor perceção do problema descrito anteriormente, procedeu-se à realização de uma metodologia, permitindo o desenvolvimento e simulação de diagramas de rotas, de modo a perceber-se melhor o caso real.

Através do software disponibilizado em [2], foi possível obter um diagrama com as rotas simplificadas, ou seja, na Figura 3.4 pode-se visualizar os diferentes trajetos e tempos de viagens realizadas pelos veículos para as várias cidades, a partir da Unidade de Saúde de Bragança.

Com este diagrama é possível perceber melhor o modelo matemático a aplicar neste trabalho.

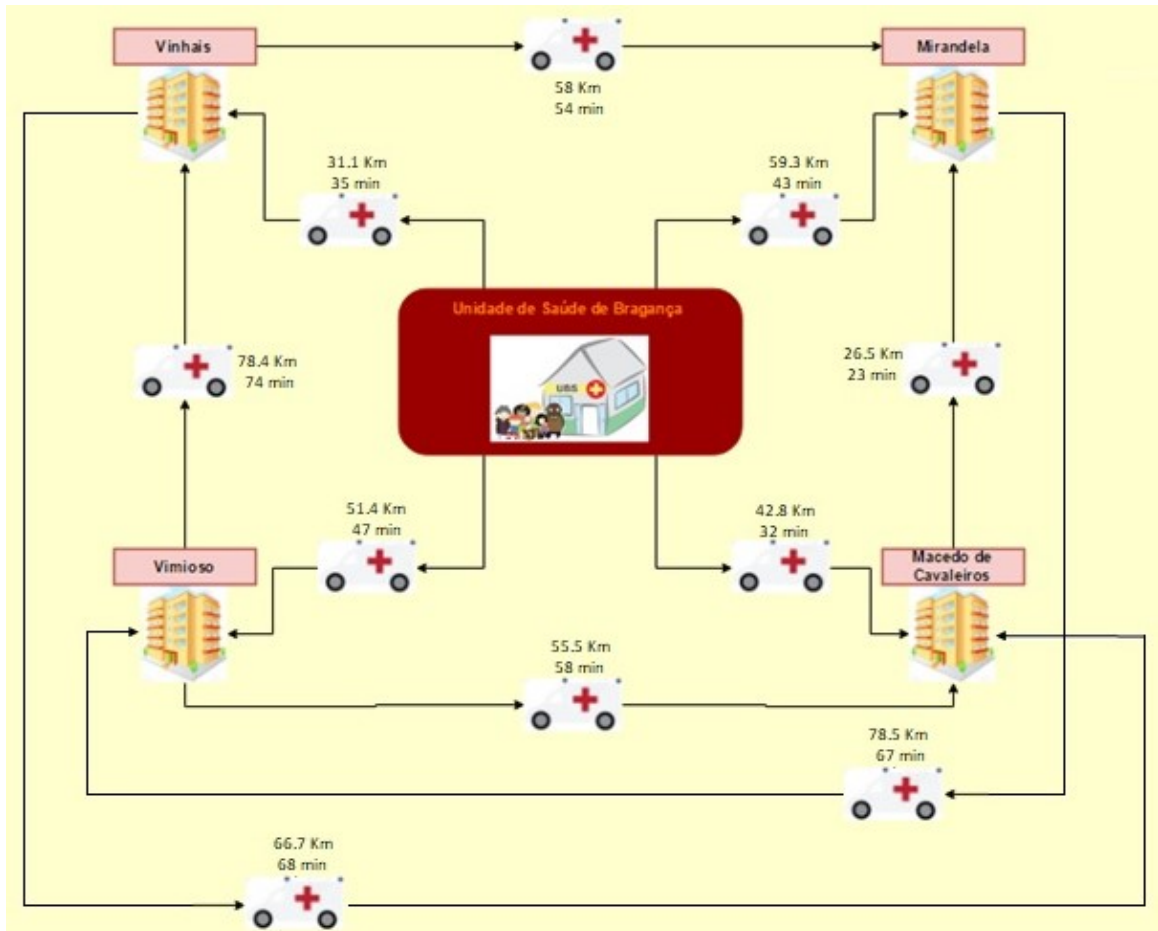


Figura 3.4: Diagrama de rotas.

Para este problema foi considerado o número de veículos disponíveis nesta unidade de saúde para visitas domiciliárias e os pacientes que solicitam este tipo de cuidados de saúde.

De seguida, são descritas todas as entidades envolvidas no problema em questão.

Para a formulação matemática são consideradas as seguintes variáveis gerais e fixas:

- NP – o número de pacientes em que $NP \in \mathbb{N}$;
- NC – o número de carros em que $NC \in \mathbb{N}$;
- NT_j – número de tratamentos por paciente, P_j ;
- NL – número de localidades para visitas domiciliárias;
- Cada veículo disponibilizado pelo hospital é representado por C_i , para $i \in \{1, \dots, NC\}$;
- Os vários tratamentos realizados são representados por T_k para $k \in \{1, \dots, NT\}$;
- Os vários pacientes são representados por P_j para $j \in \{1, \dots, NP\}$.

Neste trabalho é também necessário referir outras entidades matemáticas precisas para a obtenção da solução final deste problema.

- A lista de todos os tratamentos e o tempo necessário para cada um deles, fornecida pela Unidade Nacional de Saúde;
- As localizações de todos os pacientes;
- Os enfermeiros disponíveis para a realização dos tratamentos;
- Cada enfermeiro tem os seus pacientes já definidos;
- Cada veículo pode levar mais do que um enfermeiro, sendo que quando um determinado enfermeiro estiver a executar o tratamento do seu paciente, o(s) outro(s) enfermeiro(s) terão que aguardar para depois continuarem o seu percurso para a habitação de outro paciente;
- Foram considerados 15 minutos e 10 quilómetros para o percurso da viagem, na mesma localidade, para visitar os vários pacientes;
- A duração e a distância das viagens entre as diferentes localidades são conhecidas;

- Todas as viagens começam e acabam no Centro de Saúde de Bragança.

Considera-se também, a variável $x = (P_1, \dots, P_P; C_1, \dots, C_P)$, onde o paciente P_i será visitado pelo carro C_j , para $i = 1, \dots, NP$ e $j = 1, \dots, NC$, e $x \in \{1, \dots, NP\}^{NP} \times \{1, \dots, NC\}^{NP}$

Para um determinado x é possível definir o horário do veículo e a função $S^l(x)$, $l = 1, \dots, NC$, que representa o tempo total necessário para realizar todas as visitas do carro l , considerando o vetor x . A função objetivo é definida como:

$$f(x) = \max_{l=1, \dots, NC} S^l \quad (3.3)$$

que representa o tempo máximo e a distância máxima utilizados pelo carro, incluindo o tempo de tratamento, o tempo de viagem e a distância de toda a rota, contando sempre com o retorno ao ponto de origem (USB).

Depois o problema de otimização restrita será definido como:

$$\min f(x) \quad (3.4)$$

onde $x = (P_1, \dots, P_P; C_1, \dots, C_P)$ com $P_i \in \{1, \dots, NP\}$ e $C_i \in \{1, \dots, NC\}$; e todos os pacientes precisam de ser tratados $\cup_{i=1}^P P_i = \{1, \dots, NP\}$.

Após a formulação matemática e a identificação das várias variáveis do problema, é importante mostrar os diferentes casos de estudo, presentes no capítulo 4.

Capítulo 4

Casos de estudo

4.1 Definição dos casos de estudo

Nesta secção irão ser apresentados os vários casos de estudo, sendo feita depois a sua análise para depois ser possível testar o modelo desenvolvido, podendo depois ser aplicado em casos reais.

Foram realizados três diferentes casos, com distintos números de pacientes e de veículos, sendo também necessário indicar o número de tratamentos e a localidade de cada paciente. Nestes testes, utilizaram-se quatro diferentes tratamentos, com durações diferentes, e até cinco localizações distintas, dependendo de cada caso. Em cada veículo vão um ou mais profissionais de saúde e assume-se o valor de 15 minutos para percorrer dois pontos diferentes na mesma localidade.

4.1.1 Caso de Estudo 1

Neste caso de estudo, a instituição possui cinco pacientes que necessitam de visita domiciliária, dois veículos para realizar os percursos, quatro tratamentos distintos com diferente duração média, como se pode visualizar na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Tempo médio de cada tratamento em minutos.

Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
20	20	20	30

Posteriormente, é apresentado na Tabela 4.2 com os respectivos tratamentos necessários para cada paciente.

Tabela 4.2: Tratamentos necessários para cada paciente no Caso de Estudo 1.

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
Paciente 1	X			
Paciente 2	X		X	
Paciente 3	X	X		
Paciente 4				X
Paciente 5	X			

De seguida, atribui-se a cada paciente uma localização, existindo neste caso 3 diferentes localidades, como se visualiza na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Localidades de cada paciente no Caso de Estudo 1.

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

Por sua vez, na Tabela 4.4, pode-se verificar o tempo de cada viagem entre as cidades referidas anteriormente, uma vez que, as localidades têm diferentes distâncias e tempos de viagem. Por isso, é necessário definir a matriz de tempo, em minutos, entre os locais estabelecidos e o ponto de origem (USB), de modo a elaborar e definir o escalonamento das visitas domiciliárias para os veículos disponíveis, com o objetivo de obter o menor tempo gasto em toda a viagem.

Os tempos entre as diferentes localidades foram obtidos através de uma plataforma fornecida pelo *Google*, com o nome de “*Google Maps*”.

Tabela 4.4: Tempo de viagem entre as várias localidades em minutos no Caso de Estudo 1.

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

4.1.2 Caso de Estudo 2

No segundo caso de estudo, a instituição possui oito pacientes que necessitam de visita domiciliar, três veículos para realizar os percursos e o mesmo número de tratamentos distintos aplicado no Caso de Estudo 1 com as mesmas durações médias. A Tabela 4.5 mostra os tratamentos necessários para cada paciente.

Tabela 4.5: Tratamentos necessários para cada paciente no Caso de Estudo 2.

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
Paciente 1	X			
Paciente 2	X		X	
Paciente 3	X	X		
Paciente 4				X
Paciente 5	X			
Paciente 6			X	
Paciente 7			X	X
Paciente 8		X		

Neste teste atribui-se novamente a cada paciente uma localização, existindo neste caso cinco diferentes localidades, como se visualiza na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Localidades de cada paciente no Caso de Estudo 2.

	Bragança	Vinhais	Mirandela	Vimoso	Macedo de Cavaleiros
Paciente 1	X				
Paciente 2		X			
Paciente 3	X				
Paciente 4			X		
Paciente 5					X

	Bragança	Vinhais	Mirandela	Vimioso	Macedo de Cavaleiros
Paciente 6		X			
Paciente 7				X	
Paciente 8			X		

Segue-se a Tabela 4.7, onde está definido o tempo de cada viagem entre as cidades referidas anteriormente.

Tabela 4.7: Tempo de viagem entre as várias localidades em minutos no Caso de Estudo 2.

	Bragança	Vinhais	Mirandela	Vimioso	Macedo de Cavaleiros
Bragança	15	40	45	45	35
Vinhais	40	15	50	75	60
Mirandela	45	50	15	70	25
Vimioso	45	75	70	15	60
Macedo de Cavaleiros	35	60	25	60	15

4.1.3 Caso de Estudo 3

Finalmente, no Caso de Estudo 3, a instituição possui seis pacientes que necessitam de visita domiciliária, quatro veículos para realizar os percursos e o mesmo número de tratamentos distintos aplicado no caso de estudo 1 e 2 com as mesmas durações médias. Na Tabela 4.8 pode-se ver os tratamentos necessários para cada paciente.

Tabela 4.8: Tratamentos necessários para cada paciente no Caso de Estudo 3.

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
Paciente 1	X			
Paciente 2	X		X	
Paciente 3	X	X		
Paciente 4			X	
Paciente 5		X	X	
Paciente 6				X

Neste caso de estudo, é igualmente atribuído a cada paciente uma localização, existindo neste caso 4 diferentes localidades, como se visualiza na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Localidades de cada paciente no Caso de Estudo 3.

	Bragança	Vinhais	Mirandela	Macedo de Cavaleiros
Paciente 1	X			
Paciente 2		X		
Paciente 3				X
Paciente 4	X			
Paciente 5			X	
Paciente 6		X		

Abaixo, na Tabela 4.10, está definido o tempo de cada viagem entre as cidades citadas acima.

Tabela 4.10: Tempo de viagem entre as várias localidades em minutos no Caso de Estudo 3.

	Bragança	Vinhais	Mirandela	Macedo de Cavaleiros
Bragança	15	40	45	35
Vinhais	40	15	50	60
Mirandela	45	50	15	25
Macedo de Cavaleiros	35	60	25	15

4.2 Validação da Modelação Matemática

Pretende-se agora neste subcapítulo testar a modelação matemática apresentada no capítulo 3.

4.2.1 Testes para o Caso de Estudo 1

No primeiro caso de estudo, tem-se cinco pacientes que necessitam de visita domiciliária, onde os pacientes 1, 4 e 5 necessitam de um tratamento e os pacientes 2 e 3 necessitam de dois tratamentos. A instituição possui apenas dois veículos para realizarem as visitas domiciliárias, neste caso.

Os dois vetores X testados, ou seja, as soluções testadas foram:

- $X_1 = [2 \ 1 \ 3 \ 5 \ 4, \ 2 \ 1 \ 1 \ 2 \ 2]$, onde os pacientes 1 e 3 seriam visitados pelo carro 1 e os pacientes 2, 4 e 5 seriam visitados pelo carro 2, como se pode verificar na Figura 4.1.

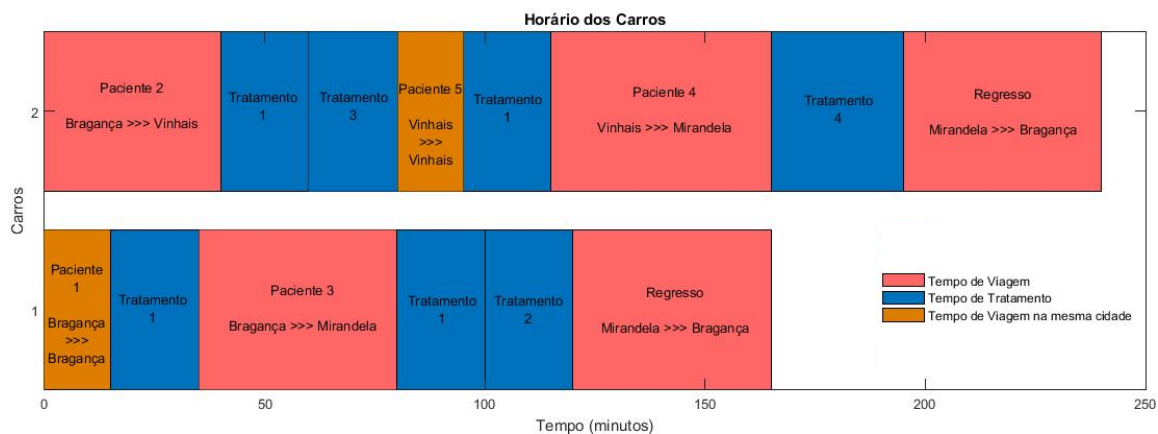


Figura 4.1: Horário dos carros no Caso de Estudo 1, Teste 1.

- $X_2 = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5, \ 1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2]$, onde os pacientes 1 e 2 seriam visitados pelo carro 1 e os pacientes 3, 4 e 5 seriam visitados pelo carro 2, como se verifica na Figura 4.2.

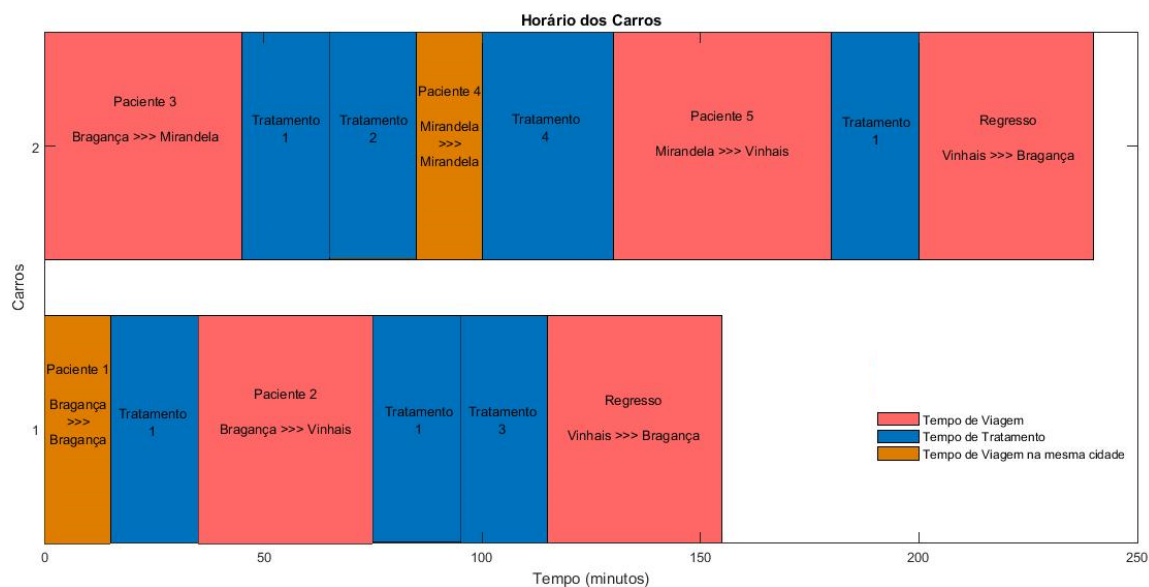


Figura 4.2: Horário dos carros no Caso de Estudo 1, Teste 2.

Verificou-se que o Teste 2 (X_2) foi o que se obteve menor tempo de viagens entre as localidades

dos pacientes e com o tempo dos tratamentos de cada paciente, tendo o carro 1 despendido 155 minutos e o carro 2 despendido 240 minutos, resultando um total dos dois veículos de 395 minutos.

4.2.2 Testes para o Caso de Estudo 2

Neste caso de estudo tem-se oito pacientes que necessitam de visita domiciliária, onde os pacientes 1, 4, 5, 6 e 8 necessitam de um tratamento e os pacientes 2, 3 e 7 necessitam de dois tratamentos. A unidade de saúde, neste caso, possui três veículos para realizarem as visitas domiciliárias.

As soluções testadas foram:

- $X_1 = [1\ 3\ 4\ 2\ 8\ 7\ 6\ 5, 1\ 2\ 2\ 1\ 1\ 3\ 2\ 3]$, onde os pacientes 1, 2 e 8 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 3, 4 e 6 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 5 e 7 seriam visitados pelo carro 3, como se pode visualizar na Figura 4.3.

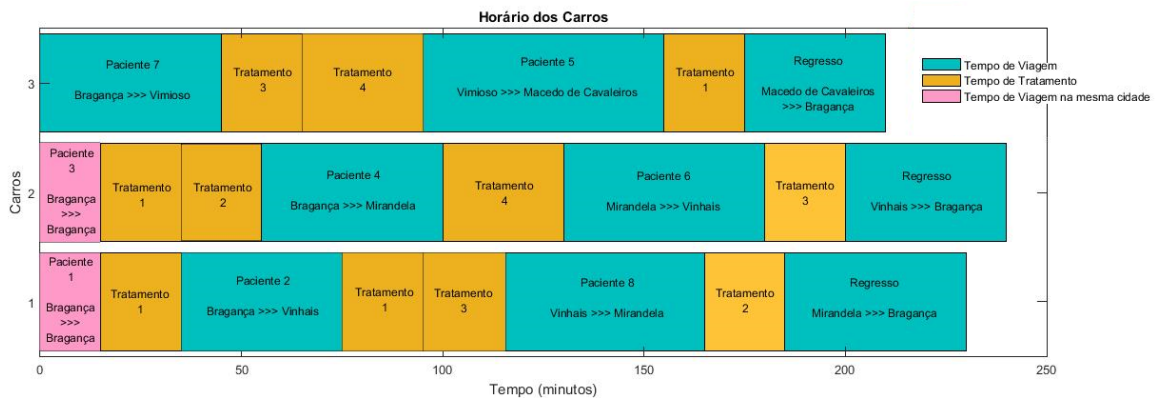


Figura 4.3: Horário dos carros no Caso de Estudo 2, Teste 1.

- $X_2 = [2\ 7\ 3\ 6\ 4\ 8\ 5\ 1, 2\ 1\ 3\ 2\ 2\ 3\ 3\ 1]$, onde os pacientes 1 e 7 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 2, 6 e 4 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 3, 8 e 5 seriam visitados pelo carro 3, como se visualiza na Figura 4.4.

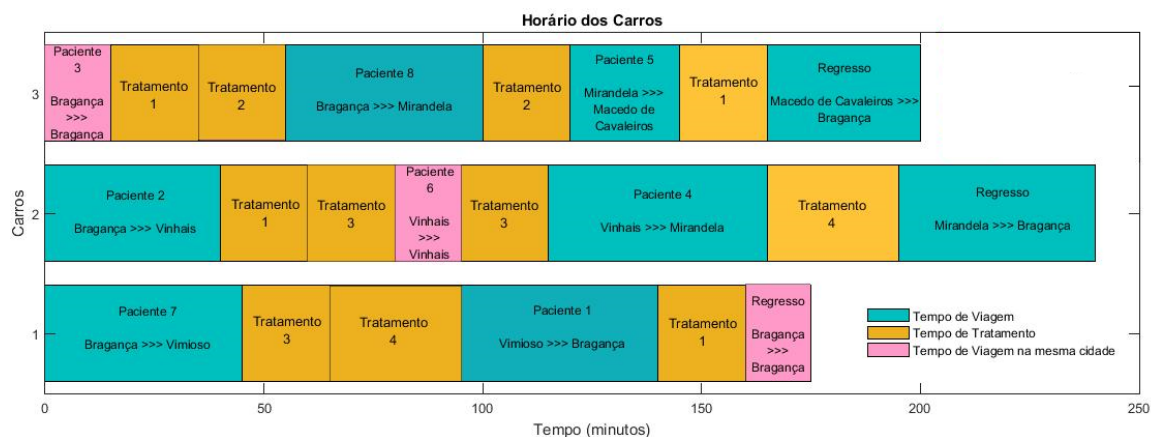


Figura 4.4: Horário dos carros no Caso de Estudo 2, Teste 2.

Novamente verificou-se que o Teste 2 (X_2) foi aquele em que se obteve menor tempo de viagens entre as localidades dos pacientes e com o tempo dos tratamentos de cada paciente, tendo o carro 1 despendido 175 minutos, o carro 2 despendido 240 minutos e o carro 3 despendido 200 minutos, resultando um tempo total dos três veículos de 615 minutos.

4.2.3 Testes para o Caso de Estudo 3

No terceiro caso de estudo tem-se seis pacientes que necessitam de visita domiciliária, onde os pacientes 1, 4 e 6 necessitam de um tratamento e os pacientes 2, 3 e 5 necessitam de dois tratamentos. A empresa, neste caso, possui quatro veículos para realizarem as visitas domiciliárias.

As soluções testadas foram:

- $X_1 = [2 \ 3 \ 6 \ 5 \ 1 \ 4, \ 1 \ 2 \ 4 \ 4 \ 3 \ 1]$, onde os pacientes 2 e 4 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 3 e 1 seriam visitados pelos carros 2 e 3, respetivamente, e os pacientes 6 e 5 seriam visitados pelo carro 4, como mostra a Figura 4.5.

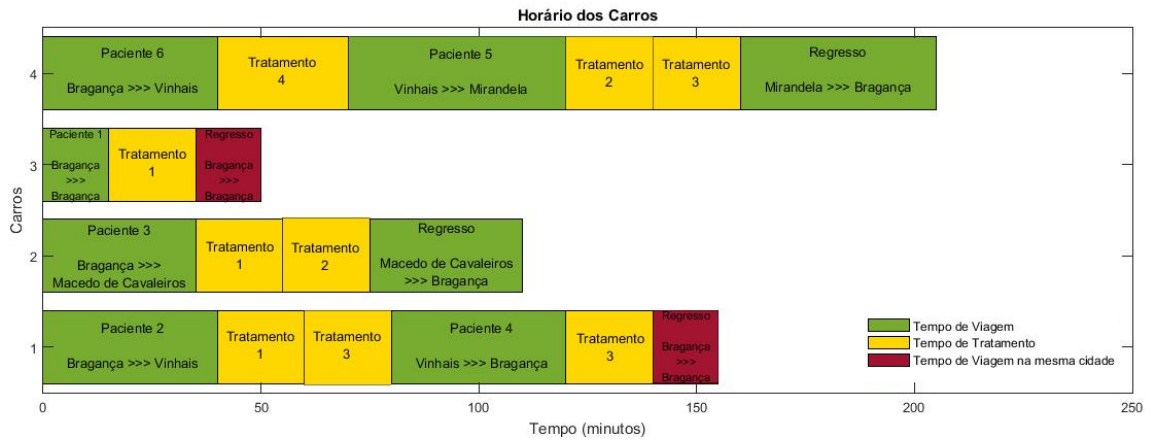


Figura 4.5: Horário dos carros no Caso de Estudo 3, Teste 1.

- $X_2 = [1\ 2\ 3\ 6\ 5\ 4, 1\ 2\ 3\ 4\ 2\ 3]$, onde os pacientes 1 e 6 seriam visitados pelo carro 1 e 4, respetivamente, os pacientes 2 e 5 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 3 e 4 seriam visitados pelo carro 3, como se pode ver na Figura 4.6.

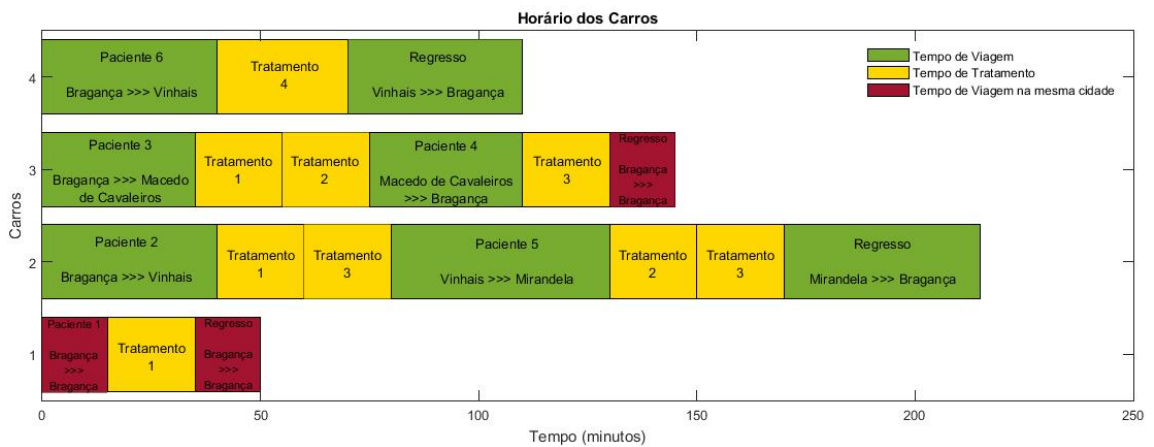


Figura 4.6: Horário dos carros no Caso de Estudo 3, Teste 2.

Neste caso em ambos os testes acima (X_1 e X_2), averiguou-se que o menor tempo preciso para realizar as viagens entre as localidades dos pacientes, considerando o tempo dos tratamentos, de cada paciente foi de 520 minutos, tendo cada carro tempos distintos para as visitas domiciliárias.

4.3 Resultados numéricos relativos aos casos de estudo

Os resultados numéricos apresentados nesta secção foram obtidos usando o método do Algoritmo Genético apresentado na secção 3.1. O método foi codificado em ambiente MatLab, versão 2015a, usando um processador Intel (R) Core (TM) i5 2.40GHz CPU com 4,0 GB de memória RAM [25].

Uma vez que o Algoritmo Genético é estocástico, foram testadas duas situações. A primeira considerou-se 50 execuções do GA, onde foram feitas duas corridas do algoritmo, obtendo-se os escalonamentos X_1 e X_2 . Na segunda situação considerou-se 100 execuções do GA, obtendo-se os escalonamentos X_3 e X_4 , sendo feitas duas corridas para os obter. O objetivo era identificar se ocorriam diferenças significativas nas situações.

4.3.1 Resultados para o Caso de Estudo 1

É necessário relembrar que para este caso de estudo tem-se cinco pacientes que necessitam de visita domiciliária, e apenas estão disponíveis dois veículos para realizarem as visitas domiciliárias.

Os quatro vetores X obtidos foram:

- $X_1 = X_3 = [1\ 3\ 4\ 5\ 2, 2\ 1\ 1\ 2\ 2]$, onde os pacientes 3 e 4 seriam visitados pelo carro 1 e os pacientes 1, 5 e 2 seriam visitados pelo carro 2, como se pode ver na Figura 4.7.

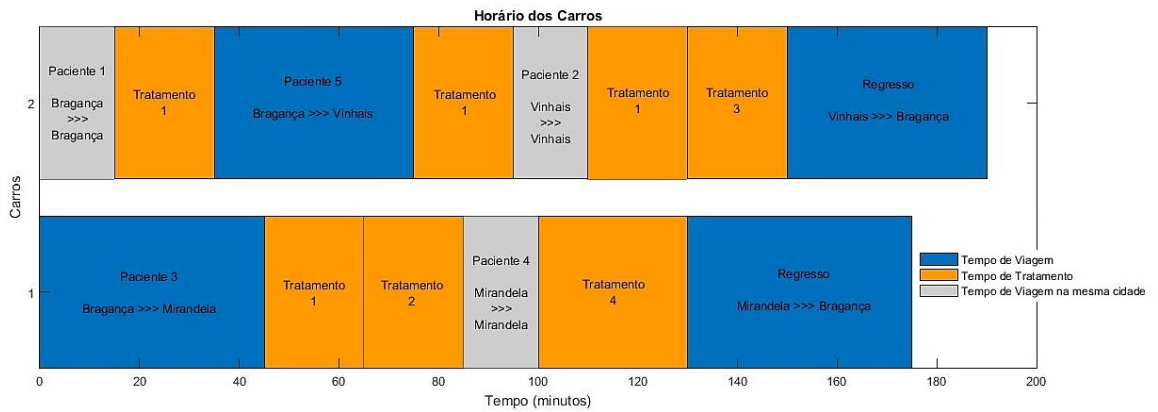


Figura 4.7: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 1, Testes 1 e 3.

- $X_2 = [2 \ 5 \ 3 \ 1 \ 4, \ 2 \ 2 \ 1 \ 2 \ 1]$, onde os pacientes 3 e 4 seriam visitados pelo carro 1 e os pacientes 2, 5 e 1 seriam visitados pelo carro 2, como se visualiza na Figura 4.8.

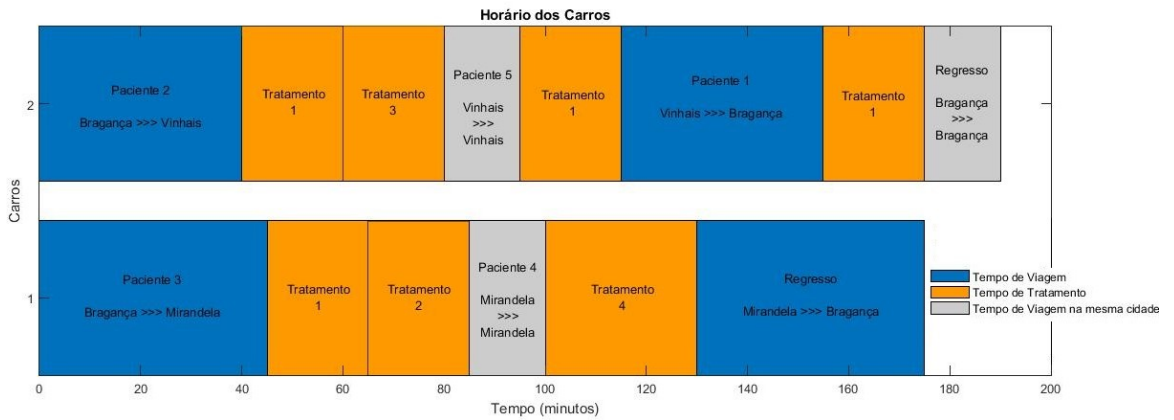


Figura 4.8: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 1, Teste 2.

- $X_4 = [1 \ 3 \ 2 \ 5 \ 4, \ 1 \ 2 \ 1 \ 1 \ 2]$, onde os pacientes 1, 2 e 5 seriam visitados pelo carro 1 e os pacientes 3 e 4 seriam visitados pelo carro 2, como mostra a Figura 4.9.

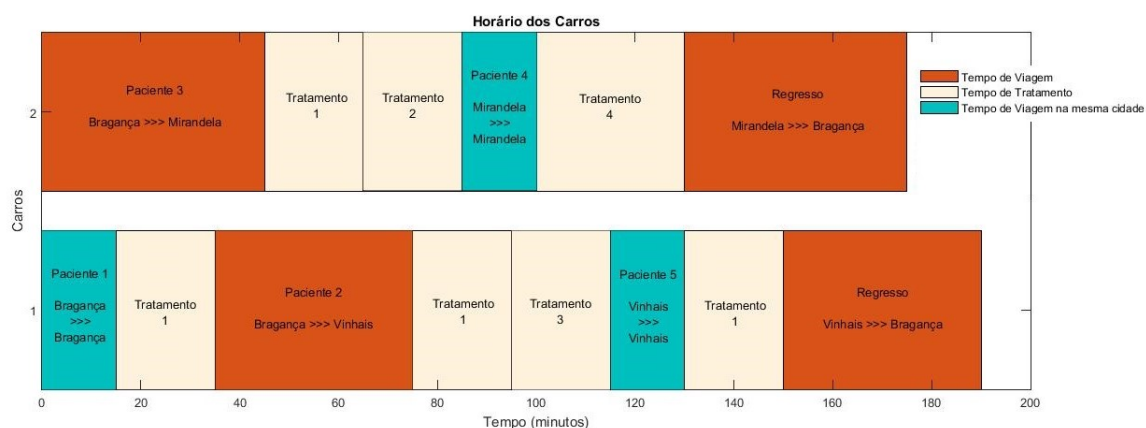


Figura 4.9: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 1, Teste 4.

Neste caso de estudo em todos os testes verificou-se que o menor tempo necessário para realizar as viagens entre as localidades dos pacientes e com o tempo dos tratamentos de cada paciente foi de 365 minutos, tendo cada carro tempos distintos para as visitas domiciliárias. Para além disso, foram obtidos três diferentes horários, neste caso, pois o X_1 e X_3 são o mesmo horário.

4.3.2 Resultados para o Caso de Estudo 2

No caso de estudo 2, tem-se oito pacientes que necessitam de visita domiciliária, e apenas existem três veículos para realizarem as visitas domiciliárias, para mais detalhe consultar a secção 4.1.2.

Os quatro vetores X obtidos foram:

- $X_1 = [6 \ 1 \ 2 \ 5 \ 7 \ 4 \ 8 \ 3, \ 2 \ 3 \ 1 \ 2 \ 3 \ 1 \ 2 \ 3]$, onde os pacientes 2 e 4 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 6, 5 e 8 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 1, 7 e 3 seriam visitados pelo carro 3, como mostra na Figura 4.10.

4.3. Resultados numéricos relativos aos casos de estudo



Figura 4.10: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 2, Teste 1.

- $X_2 = [3\ 8\ 7\ 1\ 4\ 5\ 6\ 2, 3\ 2\ 3\ 1\ 2\ 1\ 2\ 1]$, onde os pacientes 1, 5 e 2 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 8, 4 e 6 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 3 e 7 seriam visitados pelo carro 3, como se pode ver na Figura 4.11.

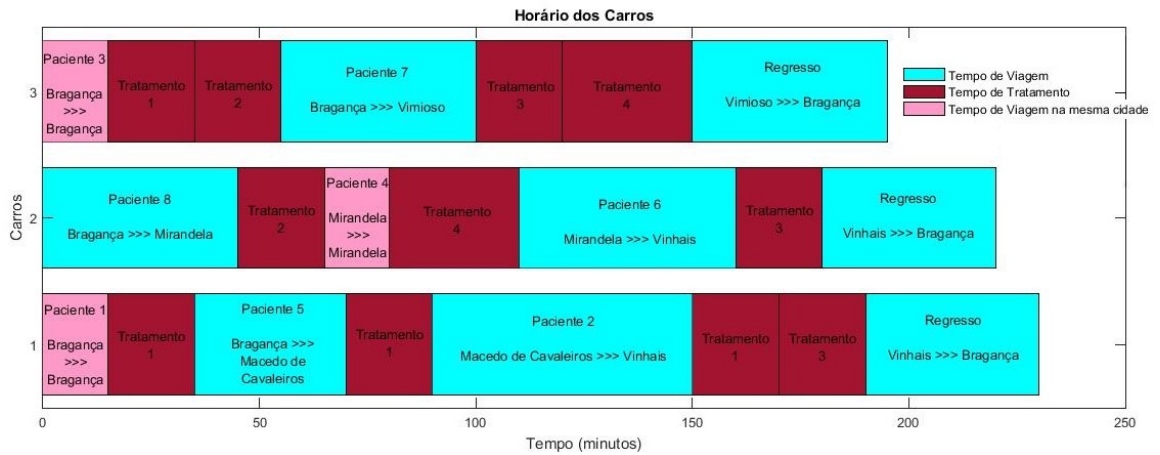


Figura 4.11: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 2, Teste 2.

- $X_3 = [2\ 3\ 5\ 7\ 4\ 6\ 1\ 8, 2\ 1\ 3\ 1\ 3\ 2\ 2\ 3]$, onde os pacientes 3 e 7 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 2, 6 e 1 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 5, 4 e 8 seriam visitados pelo carro 3, sendo possível verificar o que foi dito acima na Figura 4.12.

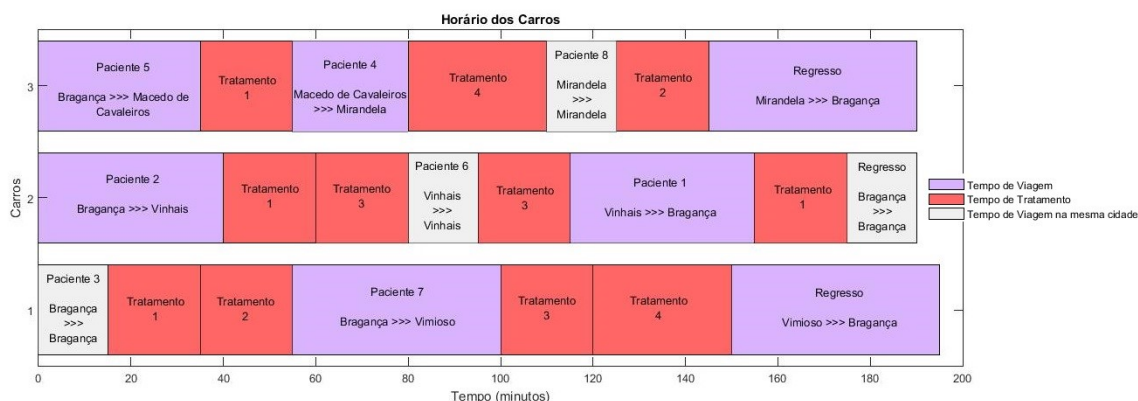


Figura 4.12: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 2, Teste 3.

- $X_4 = [1\ 3\ 6\ 4\ 7\ 2\ 8\ 5, 2\ 3\ 2\ 3\ 1\ 2\ 3\ 1]$, onde os pacientes 7 e 5 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 1, 6 e 2 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 3, 4 e 8 seriam visitados pelo carro 3, como se pode visualizar na Figura 4.13.

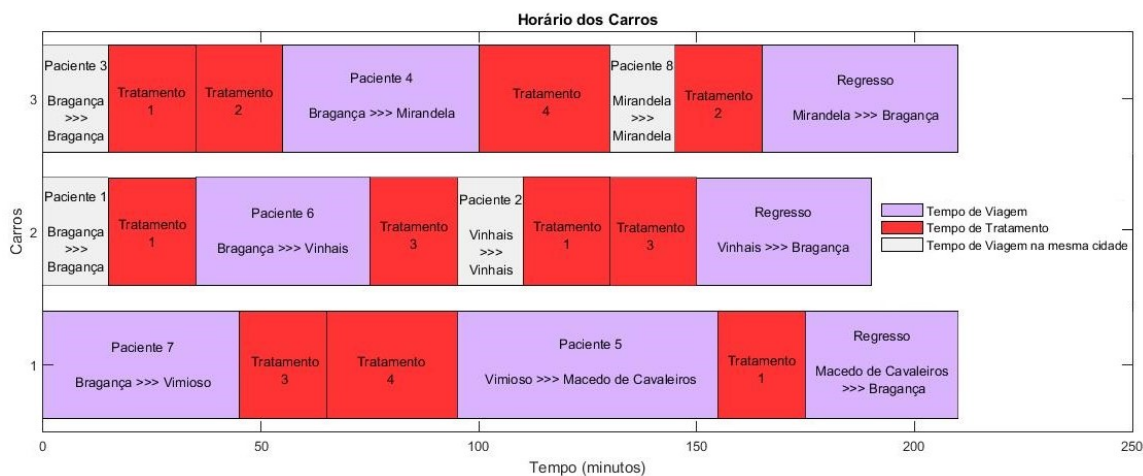


Figura 4.13: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 2, Teste 4.

Verificou-se neste caso, que o teste 3 (X_3) foi aquele em que se obteve menor tempo de viagens entre as localidades dos pacientes e com o tempo dos tratamentos de cada paciente, tendo o carro 1 despendido 195 minutos, o carro 2 e o carro 3 despendido 190 minutos, resultando um tempo total dos três veículos de 575 minutos.

Resultados para o Caso de Estudo 3

Para este caso de estudo, tem-se seis pacientes que necessitam de visita domiciliária, e apenas quatro veículos para realizarem as visitas domiciliárias.

Os quatro vetores X obtidos foram:

- $X_1 = [5 \ 6 \ 3 \ 4 \ 1 \ 2, \ 3 \ 4 \ 2 \ 1 \ 4 \ 1]$, onde os pacientes 4 e 2 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 3 e 5 seriam visitados pelos carros 2 e 3 respetivamente e os pacientes 6 e 1 seriam visitados pelo carro 4, como se pode verificar na Figura 4.14.

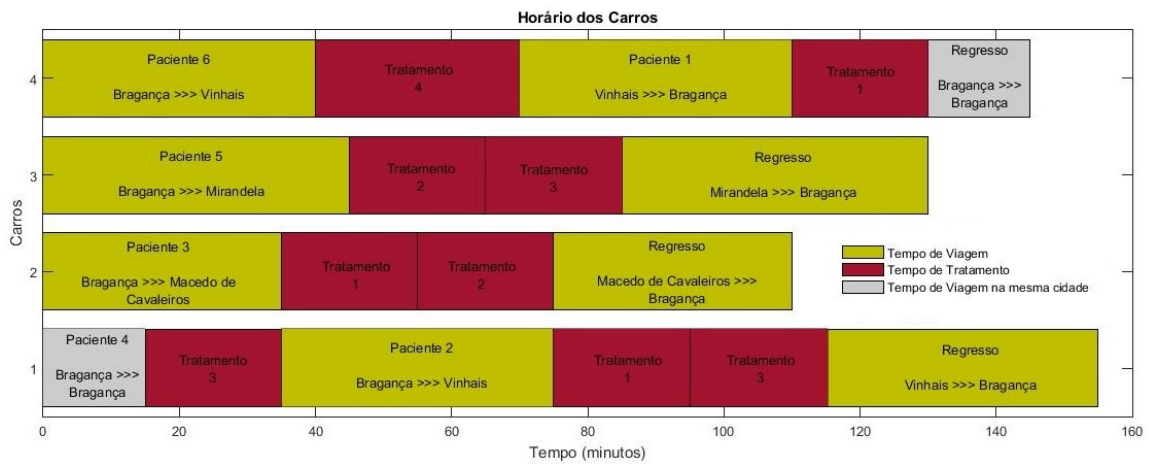


Figura 4.14: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 3, Teste 1.

- $X_2 = [4 \ 1 \ 5 \ 2 \ 6 \ 3, \ 2 \ 3 \ 3 \ 1 \ 4 \ 2]$, onde os pacientes 2 e 6 seriam visitados pelos carros 1 e 4 respetivamente, os pacientes 4 e 3 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 1 e 5 seriam visitados pelo carro 3, podendo-se verificar o que foi mencionado antes na Figura 4.15.

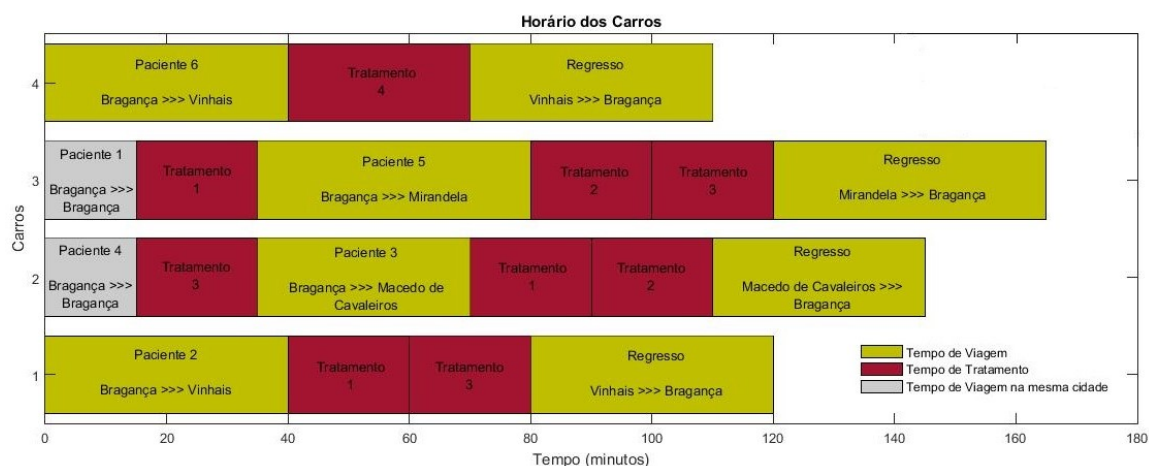


Figura 4.15: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 3, Teste 2.

- $X_3 = [1\ 2\ 4\ 3\ 6\ 5, 2\ 1\ 4\ 2\ 4\ 3]$, onde os pacientes 2 e 5 seriam visitados pelos carros 1 e 3 respetivamente, os pacientes 1 e 3 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 4 e 6 seriam visitados pelo carro 4, como se pode ver na Figura 4.16.

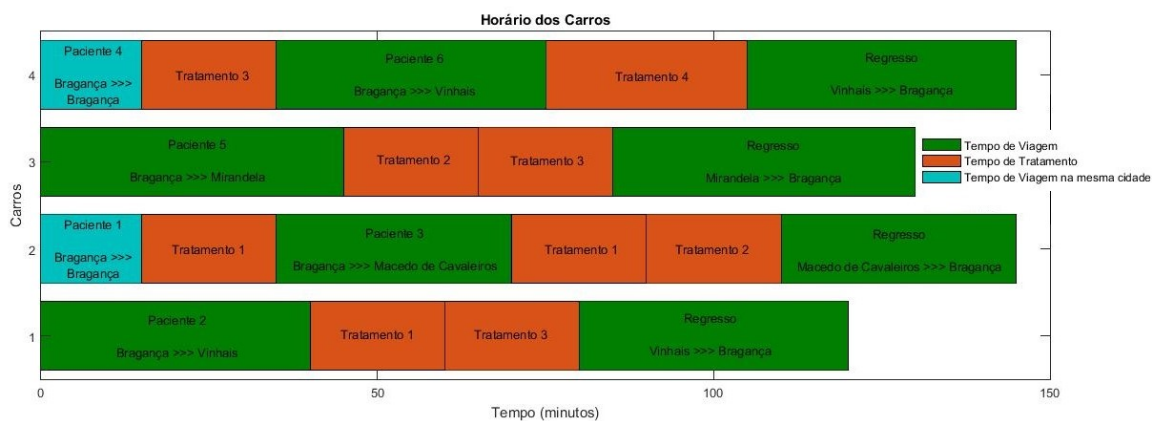


Figura 4.16: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 3, Teste 3.

- $X_4 = [5\ 1\ 3\ 2\ 4\ 6, 4\ 3\ 1\ 2\ 1\ 3]$, onde os pacientes 3 e 4 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 2 e 5 seriam visitados pelos carros 2 e 4 respetivamente e os pacientes 1 e 6 seriam visitados pelo carro 3, como mostra a Figura 4.17.

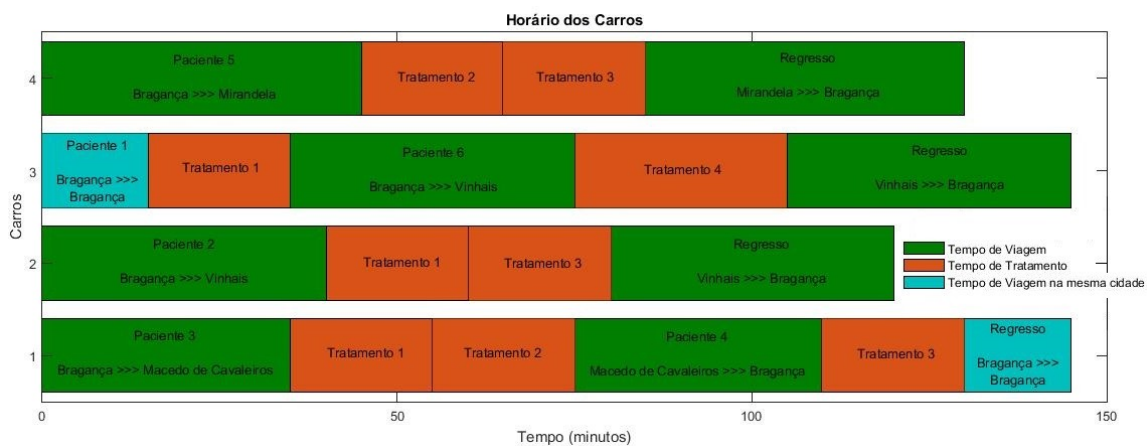


Figura 4.17: Horário dos carros com o GA, no Caso de Estudo 3, Teste 4.

No caso de estudo em questão pode-se verificar que os Testes 3 e 4 (X_3 e X_4 , respetivamente) foram os que se obtiveram um menor tempo de viagens entre as localidades dos pacientes e com o tempo dos tratamentos de cada paciente, com um tempo total gasto pelos veículos de 540 minutos.

Capítulo 5

Caso real do Unidade de Saúde de Santa Maria de Bragança

5.1 Dados relativos ao caso real da USSMB

Depois de se fazer vários estudos procedeu-se ao escalonamento de um caso real para uma semana completa, dos dias 18 a 22 de abril de 2016. A informação relativa aos dados reais foi fornecida pela Unidade de Saúde de Santa Maria de Bragança (USSMB).

Nesta secção, realizaram-se duas abordagens, em que na primeira é apenas obtido o escalonamento com o tempo máximo dos veículos e na segunda abordagem obteve-se o escalonamento, que para além do tempo máximo, foi também adicionado o número máximo de quilómetros percorridos pelos veículos durante as diferentes viagens.

Neste trabalho aplicaram-se dois diferentes algoritmos, o Algoritmo Genético e o Algoritmo de Enxame de Partículas, com o objetivo de otimizar as visitas domiciliárias, pretendendo-se a redução do tempo total necessário para cada veículo durante as rotas. De seguida, foram comparadas as soluções dos dois algoritmos para que se verifique qual o melhor (qual o mais rápido) para cada situação, de modo a obter-se o horário dos veículos para realizarem as visitas ao domicílio.

O tempo médio de tratamento é constante ao longo da semana e pode ser consultado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Tempo médio de cada tratamento em minutos.

Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Tratamento 5
30	60	75	60	60

Na Tabela 5.2 pode-se verificar as abreviaturas de todos os locais dos pacientes para a semana completa.

Tabela 5.2: Abreviaturas dos nomes das localidades.

<i>Localidades</i>	<i>Abreviaturas</i>
Alfaião	A
Bragada	Bg
Bragança	B
Carrazedo	C
Coelhoso	Cl
Deilão	D
Espinhosela	E
Gimonde	G
Meixedo	M
Milhão	Ml
Mós	Mo
Oleiros	OI
Outeiro	O
Parada	P
Pinela	Pi
Rabal	Rl
Rebordaínhos	Rb
Rebordãos	Rd
Salsas	S
Samil	Sm
Sendas	Sd
Serapicos	Sp
Sortes	St
Vinhais	V

De seguida, na Tabela 5.3 são apresentados os tempos de viagens entre as diferentes localidades, sendo atribuído um tempo de 15 minutos para viajar na mesma localidade. Relembro que o ponto inicial da viagem é sempre a Unidade de Saúde de Bragança, situada na cidade de Bragança. Nas duas tabelas seguintes, os dados obtidos nesta tabela foram obtidos pelo *Google Maps*.

Pode-se verificar, por exemplo, que da cidade de Bragança (B) até Deilão (D) são necessários 25 minutos para a viagem.

Tabela 5.3: Dados sobre o tempo de viagem entre as diferentes localidades em minutos.

	A	Bg	B	C	Cl	D	E	G	M	MI	Mo	OI	O	P	Pi	RI	Rb	Rd	S	Sm	Sd	Sp	St	V
A	15	24	16	28	35	31	25	16	22	21	18	24	20	29	25	21	26	18	24	15	30	32	18	43
Bg	24	15	22	33	30	43	31	27	34	31	16	28	30	26	15	32	15	19	15	20	16	17	15	49
B	16	22	15	25	33	25	17	16	16	18	16	16	17	29	23	18	25	15	23	15	29	31	16	35
C	28	33	25	15	44	47	24	31	39	39	26	22	38	39	32	35	33	23	34	24	37	42	27	25
Cl	35	30	33	44	15	42	42	38	44	29	19	39	19	17	17	43	31	29	29	30	36	21	25	59
D	31	43	25	47	42	15	40	18	35	16	37	37	26	48	43	35	44	36	42	33	48	50	37	57
E	25	31	17	24	42	40	15	24	18	34	25	15	33	37	32	26	34	24	32	25	37	40	25	30
G	16	27	16	31	38	18	24	15	20	18	21	22	22	32	29	19	29	21	27	17	33	35	22	41
M	22	34	16	39	44	35	18	20	15	31	27	18	29	40	35	17	37	27	34	23	39	42	27	46
MI	21	31	18	39	29	16	34	18	31	15	23	30	15	36	31	27	33	27	31	21	36	39	24	49
Mo	18	16	16	26	19	37	25	21	27	23	15	21	24	15	16	26	15	16	19	15	18	21	15	41
OI	24	28	16	22	39	37	15	22	18	30	21	15	30	33	28	26	30	20	28	22	33	36	23	30
O	20	30	17	38	19	26	33	22	29	15	24	30	15	27	31	27	32	26	30	20	36	38	24	49
P	29	26	29	39	17	48	37	32	40	36	15	33	27	15	19	38	27	25	25	36	31	23	20	54
Pi	25	15	23	32	17	43	32	29	35	31	16	28	31	19	15	34	15	20	16	21	21	19	17	49
RI	31	32	18	35	43	35	26	19	17	27	26	26	27	38	34	15	34	24	32	22	38	40	27	45
Rb	26	15	25	33	31	44	34	29	37	33	15	30	32	27	15	34	15	22	16	20	19	20	16	48
Rd	18	19	15	23	29	36	24	21	27	27	16	20	26	25	20	24	22	15	20	15	25	28	18	42
S	24	15	23	34	29	42	32	27	34	31	19	28	30	25	16	32	16	20	15	20	15	15	17	48
Sm	15	20	15	24	30	33	25	17	23	21	15	22	20	36	21	22	20	15	20	15	26	28	15	43
Sd	30	16	29	37	36	48	37	33	39	36	18	33	36	31	21	38	19	25	15	26	15	17	21	54
Sp	32	17	31	42	21	50	40	35	42	39	21	36	38	23	19	40	20	28	15	28	17	15	25	56
St	18	15	16	27	25	37	25	22	27	24	15	23	24	20	17	27	16	18	17	15	21	25	15	43
V	43	49	35	25	59	57	30	41	46	49	41	30	49	54	49	45	48	42	48	43	54	56	43	15

Na Tabela 5.4 são apresentadas as distâncias entre as diferentes localidades e foi atribuído um número de quilómetros de 10 km para viajar na mesma localidade.

Por exemplo, podemos verificar que da cidade de Bragança (B) até Parada (P) e vice-versa é

necessário percorrer 31 km.

Tabela 5.4: Dados sobre os quilómetros percorridos durante as viagens.

	A	Bg	B	C	Cl	D	E	G	M	MI	Mo	OI	O	P	Pi	RI	Rb	Rd	S	Sm	Sd	Sp	St	V
A	10	27	14	22	32	27	24	13	17	21	16	21	23	28	27	16	26	14	28	11	33	35	18	41
Bg	27	10	30	34	25	49	36	35	39	42	14	33	44	21	13	39	10	19	11	24	14	12	16	53
B	14	30	10	24	37	21	16	12	14	21	19	13	23	31	30	13	29	15	31	11	36	38	21	33
C	22	34	24	10	38	44	16	30	31	37	22	15	40	34	33	31	27	16	34	18	40	41	24	19
Cl	32	25	37	38	10	38	40	40	43	26	16	38	14	10	12	44	23	23	23	28	27	16	20	57
D	27	49	21	44	38	10	36	15	29	14	44	33	24	42	49	28	48	35	57	29	55	56	39	53
E	24	36	16	16	40	36	10	22	12	35	25	10	38	36	36	17	35	21	37	20	42	43	26	25
G	13	35	12	30	40	15	22	10	15	12	24	19	27	35	35	14	34	21	36	15	41	42	25	39
M	17	39	14	31	43	29	12	15	10	29	28	11	31	40	39	10	38	23	40	19	45	46	29	36
MI	21	42	21	37	26	14	35	12	29	10	30	32	13	30	41	27	40	28	42	22	47	49	32	52
Mo	16	14	19	22	16	44	25	24	28	30	10	22	33	12	12	26	14	12	16	12	21	23	10	42
OI	21	33	13	15	38	33	10	19	11	32	22	10	35	34	33	21	32	18	34	18	40	41	24	24
O	23	44	23	40	14	24	38	27	31	13	33	35	10	18	44	30	43	31	45	25	51	52	35	55
P	28	21	31	34	10	42	36	35	40	30	12	34	18	10	13	39	19	19	19	24	23	18	16	54
Pi	27	13	30	33	12	49	36	35	39	41	12	33	44	13	10	38	11	14	12	19	19	15	11	53
RI	16	39	13	31	44	29	17	14	10	27	26	21	30	39	38	10	38	23	40	19	45	46	29	41
Rb	26	10	29	27	23	48	35	34	38	40	14	32	43	19	11	38	10	17	14	22	16	15	12	38
Rd	14	19	15	16	23	35	21	21	23	28	12	18	31	19	14	23	17	10	20	14	25	26	14	33
S	28	11	31	34	23	57	37	36	40	42	16	34	45	19	12	40	14	20	10	24	10	11	17	54
Sm	11	24	11	18	27	29	20	15	19	22	12	18	25	24	19	19	22	14	24	10	10	30	17	38
Sd	33	14	36	40	27	55	42	41	45	47	21	40	51	23	19	45	16	25	10	10	10	11	22	59
Sp	35	12	38	41	16	56	43	42	46	49	23	41	52	18	15	46	15	26	11	30	11	10	23	60
St	18	16	21	24	20	39	26	25	29	32	10	24	35	16	11	29	12	14	17	17	22	23	10	43
V	41	53	33	19	57	53	25	39	36	52	42	24	55	54	53	41	38	33	54	38	59	60	43	10

É necessário também referir que o tempo de almoço dos enfermeiros é de 1 hora (60 minutos).

5.1.1 Dados relativos ao dia 18 de abril de 2016

No dia 18 de abril de 2016, a Unidade de Saúde de Bragança possuía quatro carros disponíveis para a realização de viagens ao domicílio, onde visitam trinta e um pacientes com a necessidade de tratamentos, que estão dispersos por doze locais diferentes e são necessários cinco tratamentos diferentes para os vários pacientes, sendo de seguida apresentada toda a informação deste dia.

Na Tabela 5.5 são apresentados os respetivos tratamentos necessários para cada paciente no dia 18 de abril.

Tabela 5.5: Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 18 de abril de 2016.

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Tratamento 5
Paciente 1	X				
Paciente 2	X				
Paciente 3	X				
Paciente 4	X				
Paciente 5		X			
Paciente 6		X			
Paciente 7		X			
Paciente 8	X				
Paciente 9	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	

Por sua vez, na Tabela 5.6, pode-se verificar os respetivos locais de cada paciente.

Tabela 5.6: Localidades de todos os pacientes no dia 18 de abril de 2016.

	B	P	Rb	C	E	Rd	S	Sp	O	M	Bg	MI
Paciente 1	X											
Paciente 2		X										
Paciente 3	X											
Paciente 4	X											
Paciente 5	X											
Paciente 6			X									
Paciente 7	X											
Paciente 8				X								
Paciente 9					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											

	B	P	Rb	C	E	Rd	S	Sp	O	M	Bg	MI
Paciente 30												X
Paciente 31												X

5.1.2 Dados relativos ao dia 19 de abril de 2016

No dia 19 de abril de 2016, a Unidade de Saúde de Bragança possuía cinco carros disponíveis para a realização de viagens ao domicílio, que visitam vinte e cinco pacientes com a necessidade de tratamentos, onde estes estão dispersos por cinco locais diferentes e são necessários cinco tratamentos diferentes para os vários pacientes, sendo de seguida apresentada toda a informação deste dia.

Na Tabela 5.7 são apresentados os respetivos tratamentos necessários para cada paciente no dia 19 de abril.

Tabela 5.7: Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 19 de abril de 2016.

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Tratamento 5
Paciente 1				X	
Paciente 2			X		
Paciente 3	X				
Paciente 4			X		
Paciente 5			X		
Paciente 6					X
Paciente 7					X
Paciente 8		X			
Paciente 9		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		

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Tratamento 5
Paciente 19				X	
Paciente 20				X	
Paciente 21	X				
Paciente 22	X				
Paciente 23	X				
Paciente 24	X				
Paciente 25	X				

Na Tabela 5.8, verifica-se os respetivos locais de cada paciente.

Tabela 5.8: Localidades de todos os pacientes no dia 19 de abril de 2016.

	B	Rd	G	Cl	Rl
Paciente 1	X				
Paciente 2	X				
Paciente 3	X				
Paciente 4		X			
Paciente 5			X		
Paciente 6	X				
Paciente 7	X				
Paciente 8	X				
Paciente 9				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				

	B	Rd	G	CI	RI
Paciente 21					X
Paciente 22	X				
Paciente 23			X		
Paciente 24	X				
Paciente 25		X			

5.1.3 Dados relativos ao dia 20 de abril de 2016

Para o dia 20 de abril de 2016, a Unidade de Saúde de Bragança tinha cinco carros disponíveis para a realização de viagens ao domicílio, que visitam vinte e dois pacientes com a necessidade de tratamentos, onde estes estão localizados em nove localidades diferentes e são necessários cinco tratamentos diferentes para os vários pacientes, sendo de seguida apresentada toda a informação deste dia.

Na Tabela 5.9 são apresentados os respetivos tratamentos necessários para cada paciente no dia 20 de abril.

Tabela 5.9: Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 20 de abril de 2016.

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Tratamento 5
Paciente 1	X				
Paciente 2	X				
Paciente 3	X				
Paciente 4		X			
Paciente 5		X			
Paciente 6	X				
Paciente 7	X				
Paciente 8	X				
Paciente 9	X				
Paciente 10					X
Paciente 11				X	
Paciente 12				X	
Paciente 13			X		
Paciente 14			X		

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Tratamento 5
Paciente 15				X	
Paciente 16				X	
Paciente 17	X				
Paciente 18				X	
Paciente 19				X	
Paciente 20				X	
Paciente 21	X				
Paciente 22	X				

Na Tabela 5.10, verifica-se as respetivas localidades de cada paciente.

Tabela 5.10: Localidades de todos os pacientes no dia 20 de abril de 2016.

	B	P	A	Sm	E	Rd	Sd	Mo	MI
Paciente 1	X								
Paciente 2	X								
Paciente 3	X								
Paciente 4					X				
Paciente 5	X								
Paciente 6	X								
Paciente 7	X								
Paciente 8						X			
Paciente 9		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								

	B	P	A	Sm	E	Rd	Sd	Mo	MI
Paciente 20	X								
Paciente 21								X	
Paciente 22									X

5.1.4 Dados relativos ao dia 21 de abril de 2016

No dia 21 de abril de 2016, a Unidade de Saúde de Bragança tinha três carros disponíveis para a realização de viagens ao domicílio, que visitam vinte e um pacientes com a necessidade de tratamentos, onde estes estão localizados em doze localidades diferentes e são necessários cinco tratamentos diferentes para os vários pacientes, sendo de seguida apresentada toda a informação deste dia.

Na Tabela 5.11 são apresentados os respetivos tratamentos necessários para cada paciente no dia 21 de abril.

Tabela 5.11: Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 21 de abril de 2016.

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Tratamento 5
Paciente 1	X				
Paciente 2			X		
Paciente 3	X				
Paciente 4	X				
Paciente 5			X		
Paciente 6		X			
Paciente 7					X
Paciente 8				X	
Paciente 9	X				
Paciente 10	X				
Paciente 11	X				
Paciente 12	X				
Paciente 13			X		
Paciente 14				X	
Paciente 15		X			
Paciente 16				X	

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Tratamento 5
Paciente 17					X
Paciente 18		X			
Paciente 19				X	
Paciente 20		X			
Paciente 21			X		

Na Tabela 5.12, verifica-se as respetivas localidades de cada paciente.

Tabela 5.12: Localidades de todos os pacientes no dia 21 de abril de 2016.

	P	C	B	Rd	O	M	Pi	St	Mo	OI	Sd	S
Paciente 1	X											
Paciente 2		X										
Paciente 3			X									
Paciente 4			X									
Paciente 5				X								
Paciente 6			X									
Paciente 7			X									
Paciente 8			X									
Paciente 9					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									

5.1.5 Dados relativos ao dia 22 de abril de 2016

No dia 22 de abril de 2016, a Unidade de Saúde de Bragança possuía cinco carros disponíveis para a realização de viagens ao domicílio, que visitam vinte e três pacientes com a necessidade de tratamentos, onde estes estão localizados em nove locais diferentes e são necessários quatro tratamentos diferentes para os vários pacientes, sendo de seguida apresentada toda a informação deste dia.

Na Tabela 5.13 são apresentados os respetivos tratamentos necessários para cada paciente no dia 22 de abril.

Tabela 5.13: Tratamentos necessários para cada paciente no caso real para o dia 22 de abril de 2016.

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
Paciente 1	X			
Paciente 2	X			
Paciente 3	X			
Paciente 4	X			
Paciente 5	X			
Paciente 6	X			
Paciente 7	X			
Paciente 8			X	
Paciente 9	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			

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
Paciente 23	X			

Na Tabela 5.14, verifica-se as respetivas localidades de cada paciente.

Tabela 5.14: Localidades de todos os pacientes no dia 22 de abril de 2016.

	B	G	Rd	S	Sp	V	Sm	Mo	D
Paciente 1	X								
Paciente 2	X								
Paciente 3		X							
Paciente 4	X								
Paciente 5	X								
Paciente 6	X								
Paciente 7			X						
Paciente 8				X					
Paciente 9	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								

5.2 Horários efetivos dos veículos da Unidade de Saúde de Bragança

Nesta secção, são apresentados os horários usados efetivamente pela USB, na semana de 18 a 22 de abril de 2016. Assim será possível comparar os diferentes resultados obtidos pelos algoritmos com os resultados manuais do Centro de Saúde.



Figura 5.1: Horário do Centro de Saúde para o dia 18 de abril.

Na figura anterior verifica-se que o carro 2 foi aquele que demorou menos tempo a realizar a sua viagem, gastando 322 minutos.

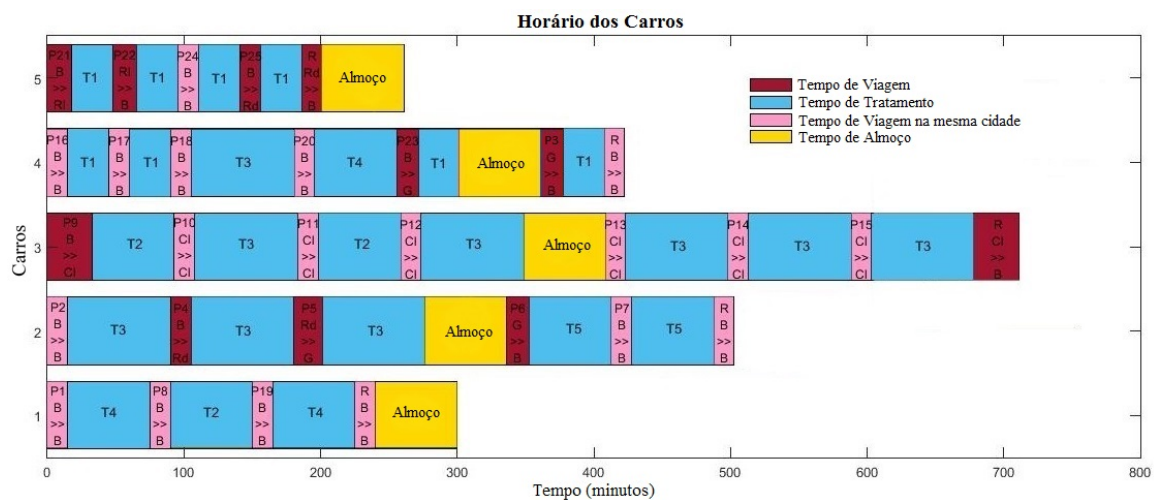


Figura 5.2: Horário do Centro de Saúde para o dia 19 de abril.

Como é possível visualizar na Figura 5.2 o carro 3 foi o que utilizou mais tempo no seu percurso, utilizando 651 minutos.



Figura 5.3: Horário do Centro de Saúde para o dia 20 de abril.

No horário para o dia 20 de abril, pode verificar-se que o carro 5 visitou o menor número de pacientes, três pacientes, demorando assim o menor tempo de viagem de 178 minutos.

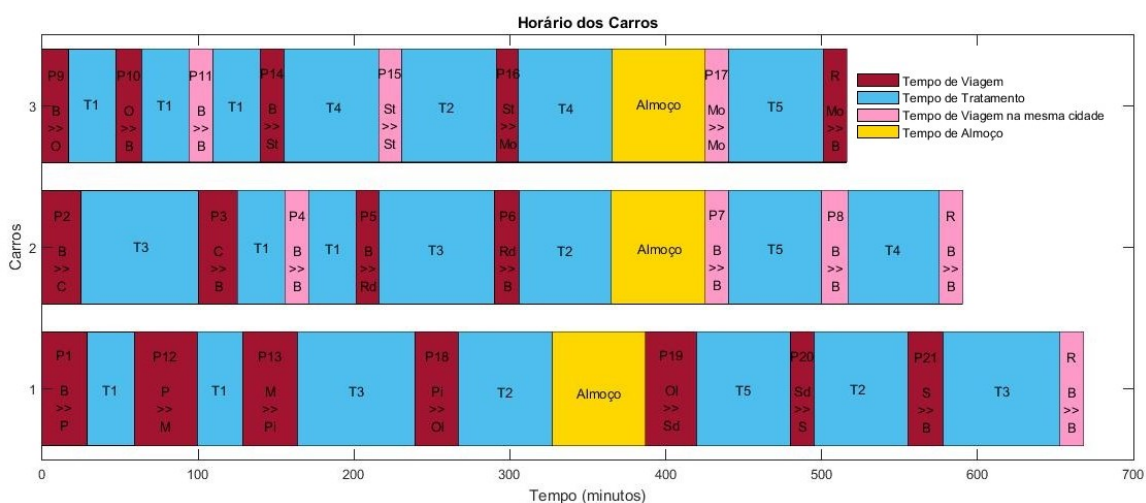


Figura 5.4: Horário do Centro de Saúde para o dia 21 de abril.

Como se pode ver na figura anterior, o carro 3 foi o que gastou menor tempo no seu percurso de 456 minutos. Já o carro 1 foi aquele que mais tempo usou para toda a sua rota de visitas ao domicílio de 608 minutos.

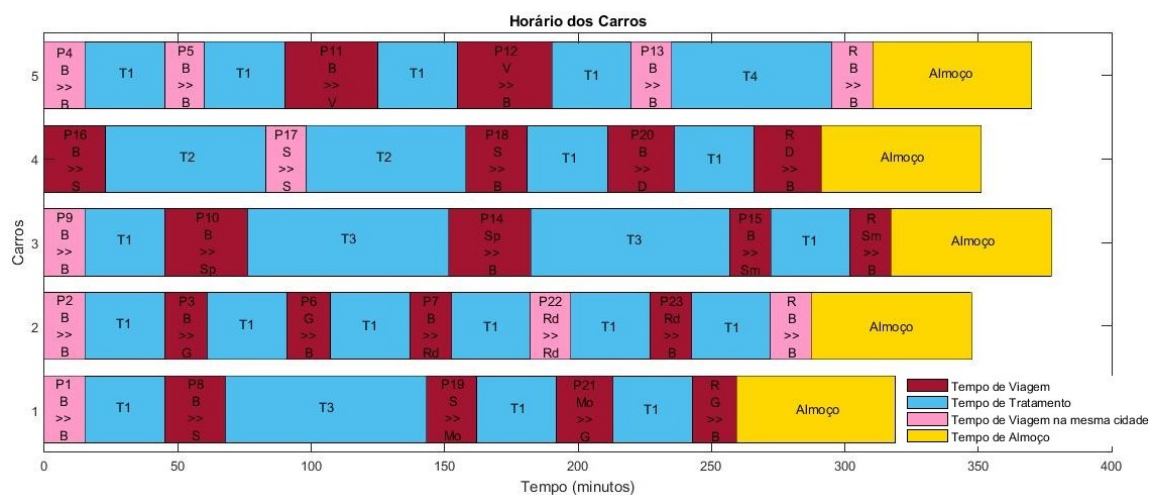


Figura 5.5: Horário do Centro de Saúde para o dia 22 de abril.

Na Figura 5.5 visualiza-se que o total gastou por todos os veículos foi de 1464 minutos.

5.3 Horários dos veículos obtidos pelo GA e PSO

5.3.1 Minimização do tempo máximo realizado nas visitas

Na primeira abordagem, o que se pretendia era obter os escalonamentos da semana de 18 a 22 de abril de 2016 com o mínimo do tempo para realizar todas as visitas ao domicílio. Foram usados os algoritmos GA e PSO. Como são algoritmos estocásticos foram realizadas 100 execuções de cada método.

Todos os algoritmos foram testados usando o MatLab, versão 2015a, com um processador Intel (R) Core (TM) i5 2.40GHz CPU com 4,0 GB de memória RAM [25].

No dia 18 o método do Algoritmo Genético apresentou a solução $X = [12\ 27\ 5\ 10\ 6\ 2\ 24\ 13\ 23\ 26\ 18\ 3\ 31\ 29\ 20\ 1\ 8\ 14\ 7\ 4\ 28\ 25\ 16\ 22\ 11\ 21\ 17\ 19\ 30\ 9\ 15,\ 4\ 2\ 3\ 1\ 4\ 4\ 1\ 2\ 3\ 1\ 2\ 1\ 4\ 4\ 4\ 1\ 3\ 1\ 3\ 2\ 3\ 3\ 1\ 2\ 2\ 3\ 1\ 1\ 2\ 4\ 2]$, onde os pacientes 10, 24, 26, 3, 1, 14, 16, 17 e 19 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 27, 13, 18, 4, 22, 11, 30 e 15 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 5, 23, 8, 7, 28, 25 e 21 seriam visitados pelo carro 3, e os pacientes 12, 6, 2, 31, 29, 20 e 9 seriam visitados pelo carro 4, como se pode verificar na Figura 5.6.

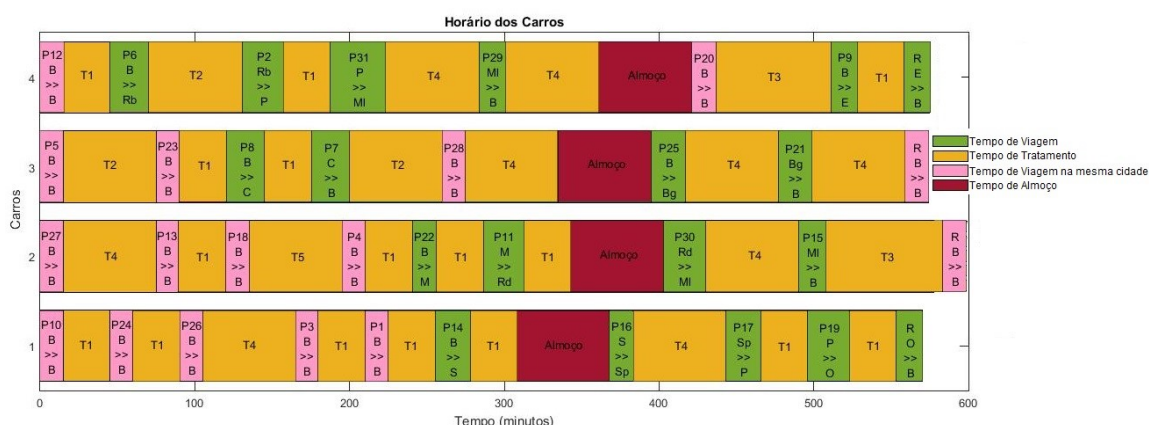


Figura 5.6: Horário dos carros para o dia 18 de abril com o GA, na Abordagem 1.

Na Figura 5.6 verifica-se que o carro 1 foi o que obteve um menor tempo de viagem em relação aos outros, com 510 minutos gastos em toda a rota, sem o tempo de almoço. Contudo o carro 2 necessitou de 538 minutos na viagem, sem o tempo de almoço.

O PSO apresentou a solução $X = [1\ 7\ 15\ 29\ 30\ 18\ 20\ 27\ 14\ 6\ 22\ 25\ 19\ 13\ 28\ 8\ 9\ 16\ 10\ 12\ 23\ 11\ 31\ 24\ 5\ 2\ 26\ 4\ 17\ 21\ 3, 2\ 1\ 1\ 3\ 3\ 3\ 1\ 4\ 1\ 4\ 3\ 1\ 2\ 3\ 4\ 2\ 2\ 1\ 2\ 4\ 2\ 3\ 2\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4\ 3\ 2\ 1]$, onde os pacientes 7, 15, 20, 14, 25, 16 e 3 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 1, 19, 8, 9, 10, 23, 31, 24 e 21 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 29, 30, 18, 22, 13, 11, 5 e 17 seriam visitados pelo carro 3, e os pacientes 27, 6, 28, 12, 2, 26 e 4 seriam visitados pelo carro 4, como se pode verificar na Figura 5.7.

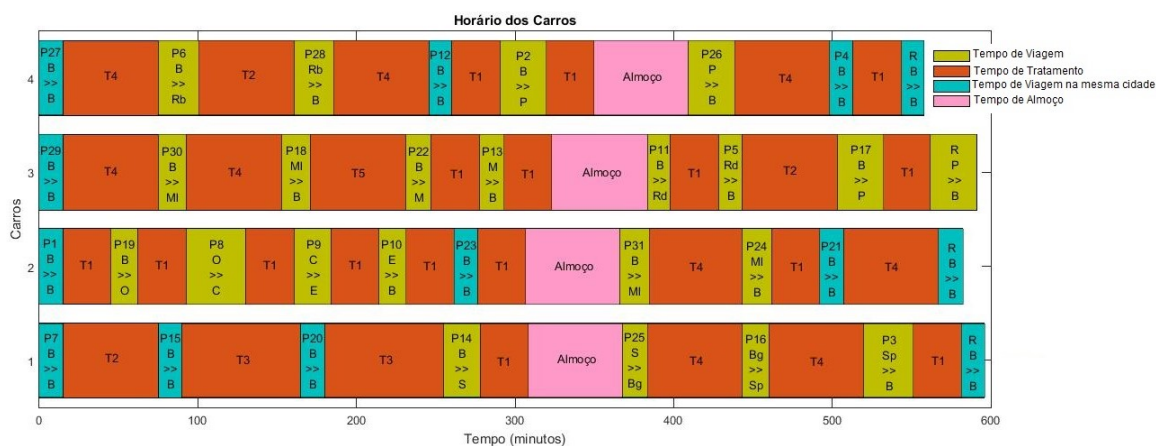


Figura 5.7: Horário dos carros para o dia 18 de abril com o PSO, na Abordagem 1.

Na Figura 5.7 é possível ver-se que o carro que obteve um menor tempo de viagem foi o carro 4, com 498 minutos gastos em todo o percurso sem o tempo de almoço. O carro que precisou de mais tempo para a viagem foi o carro 1 com 536 minutos utilizados, sem o tempo de almoço.

Na Tabela 5.15 estão representados os valores dos resultados de ambos os algoritmos e o tempo usado pelo Centro de Saúde para a obtenção dos horários do dia 18, sendo possível concluir que o

algoritmo mais rápido e com melhor resultado do tempo máximo gasto pelo veículo foi o PSO, onde o tempo médio da execução foi de 0.55 minutos e o tempo máximo foi de 536 minutos. Contudo, verificou-se que o GA obteve melhor solução para o tempo máximo gasto pelos quatro carros.

Verifica-se também que, em comparação aos dados obtidos pelo Centro de Saúde, houve uma grande melhoria em ambas as soluções dos dois algoritmos, em relação ao tempo máximo.

Tabela 5.15: Resultados para o dia 18, na Abordagem 1.

	GA	PSO	CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	538 min	536 min	694 min
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	2077 min	2087 min	
Tempo médio da execução do método	0.84 min	0.55 min	
Número da execução onde foi obtido a solução	40	34	

Para o dia 19 foi também obtida uma única solução com o GA, sendo esta $X = [11\ 1\ 9\ 18\ 2\ 16\ 15\ 8\ 22\ 13\ 23\ 6\ 14\ 21\ 5\ 24\ 25\ 10\ 20\ 19\ 17\ 7\ 4\ 3\ 12, 4\ 4\ 3\ 1\ 1\ 1\ 2\ 2\ 5\ 1\ 5\ 5\ 5\ 4\ 2\ 5\ 1\ 3\ 2\ 4\ 4\ 5\ 3\ 4\ 3]$, onde os pacientes 18, 2, 16, 13 e 25 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 15, 8, 5 e 20 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 9, 10, 4 e 12 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 11, 1, 21, 19, 17 e 3 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 22, 23, 6, 14, 24 e 7 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.8.

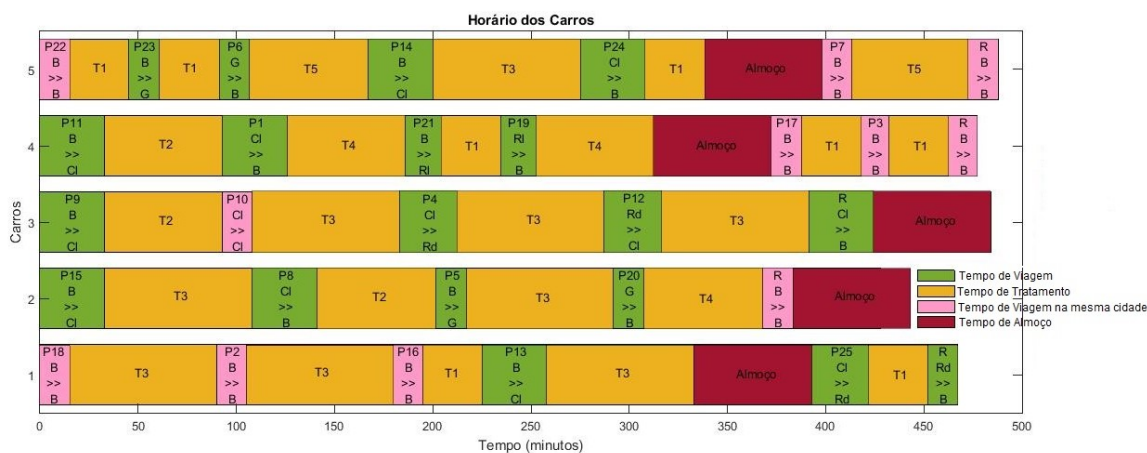


Figura 5.8: Horário dos carros para o dia 19 de abril com o GA, na Abordagem 1.

Como se pode ver na Figura 5.8 os carros 4 e 5 visitaram o maior número de pacientes, seis pacientes cada um.

O PSO para o dia 19 encontrou também apenas uma solução, $X = [16\ 24\ 11\ 8\ 21\ 18\ 17\ 4\ 19\ 1\ 14\ 13\ 3\ 5\ 10\ 7\ 15\ 23\ 2\ 25\ 9\ 20\ 6\ 22\ 12, 2\ 5\ 3\ 2\ 1\ 4\ 5\ 2\ 3\ 5\ 4\ 2\ 1\ 5\ 3\ 1\ 5\ 4\ 4\ 1\ 3\ 1\ 1\ 1\ 2]$, onde os pacientes 21, 3, 7, 25, 20, 6 e 22 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 16, 8, 4, 13 e 12 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 11, 19, 10 e 9 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 18, 14, 23 e 2 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 24, 17, 1, 5 e 15 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.9.

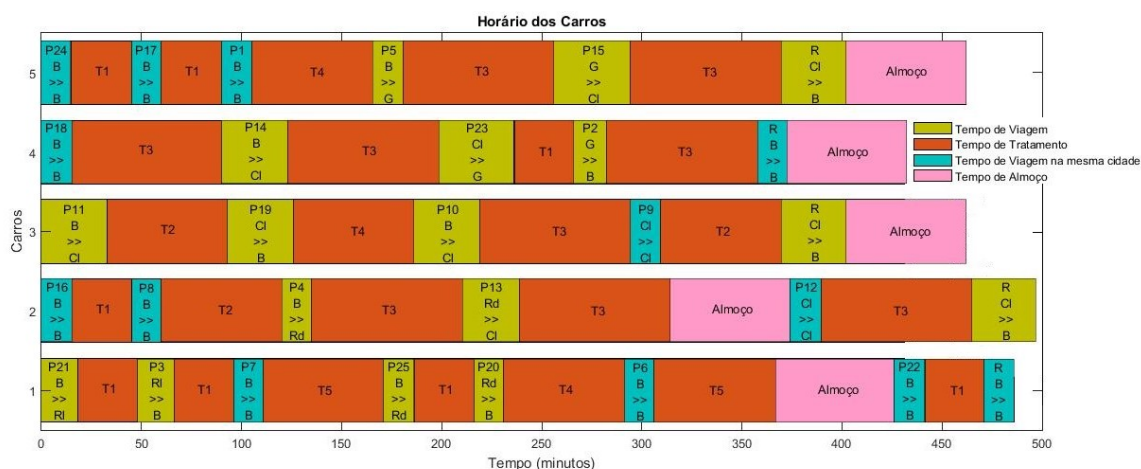


Figura 5.9: Horário dos carros para o dia 19 de abril com o PSO, na Abordagem 1.

A Figura 5.9 mostra que o carro 4 foi o que obteve o menor tempo de viagem, de 372 minutos, sem o tempo de almoço.

Na Tabela 5.16 estão representados os valores do tempo de ambos os algoritmos e o tempo do Centro de Saúde para a obtenção dos horários do dia 19, sendo possível concluir que, neste caso, o algoritmo mais rápido foi novamente o PSO com o valor de tempo médio da execução do método de 0.45 minutos, mas o algoritmo que se obteve melhor resultado foi o GA com um tempo máximo gasto pelo carro durante a viagem de 428 minutos. Todavia, o tempo total gasto pelos cinco veículos foi inferior no PSO.

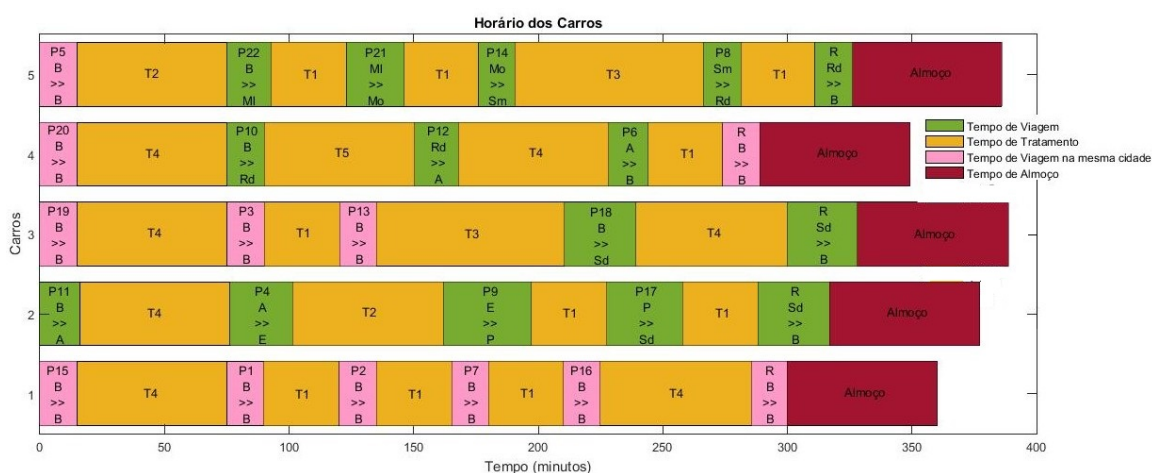
Novamente pode-se visualizar que, as soluções obtidas pelos dois algoritmos foram melhores, onde o tempo máximo destes foram ambos inferiores ao tempo máximo do Centro de Saúde.

Tabela 5.16: Resultados para o dia 19, na Abordagem 1.

	GA	PSO	CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	428 min	437 min	651 min
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	2044 min	2039 min	
Tempo médio da execução do método	0.76 min	0.45 min	
Número da execução onde foi obtido a solução	25	98	

Para o dia 20 o Algoritmo Genético encontrou duas soluções para o mesmo tempo de viagem, uma vez que, o algoritmo pode encontrar mais do que uma solução com o mesmo tempo máximo. Estas são apresentadas a seguir:

- $X_1 = [15\ 19\ 11\ 5\ 20\ 4\ 1\ 22\ 9\ 10\ 3\ 13\ 12\ 21\ 2\ 18\ 14\ 7\ 6\ 8\ 16\ 17, 1\ 3\ 2\ 5\ 4\ 2\ 1\ 5\ 2\ 4\ 3\ 3\ 4\ 5\ 1\ 3\ 5\ 1\ 4\ 5\ 1\ 2]$, onde os pacientes 15, 1, 2, 7 e 16 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 11, 4, 9 e 17 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 19, 3, 13 e 18 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 20, 10, 12 e 6 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 5, 22, 21, 14 e 8 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.10.

Figura 5.10: Horário dos carros, solução X_1 , para o dia 20 de abril com o GA, na Abordagem 1.

Neste caso, verifica-se na Figura 5.10 que o carro 3 foi o que despendeu de mais tempo para

toda a rota, com um tempo máximo de 328 minutos sem o tempo de almoço.

- $X_2 = [5\ 10\ 13\ 9\ 4\ 16\ 12\ 1\ 18\ 6\ 3\ 2\ 19\ 20\ 8\ 21\ 11\ 15\ 7\ 14\ 17\ 22, 2\ 4\ 5\ 3\ 3\ 3\ 5\ 1\ 1\ 5\ 5\ 2\ 2\ 1\ 2\ 3\ 4\ 4\ 5\ 1\ 4\ 2]$, onde os pacientes 1, 18, 20 e 14 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 5, 2, 19, 8 e 22 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 9, 4, 16 e 21 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 10, 11, 15 e 17 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 13, 12, 6, 3 e 7 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.11.

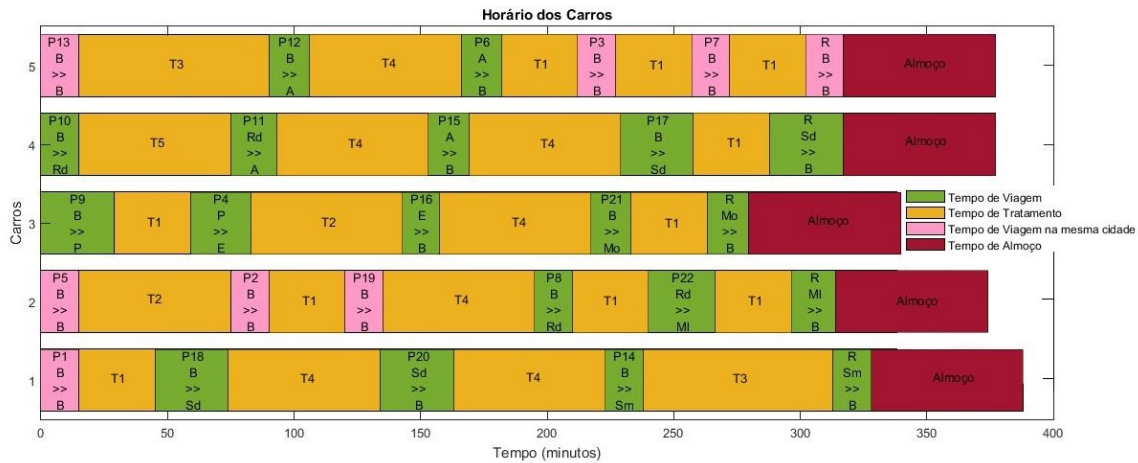


Figura 5.11: Horário dos carros, solução X_2 , para o dia 20 de abril com o GA, na Abordagem 1.

Já na Figura 5.11 é possível visualizar que o carro 3 foi o que obteve um menor tempo de viagem, sem o tempo de almoço, de 280 minutos.

O PSO, para o dia 20, encontrou uma solução, sendo ela $X = [13\ 3\ 2\ 6\ 5\ 22\ 20\ 15\ 21\ 18\ 9\ 11\ 14\ 17\ 1\ 10\ 12\ 8\ 7\ 19\ 16\ 4, 3\ 4\ 4\ 2\ 3\ 2\ 2\ 4\ 4\ 5\ 4\ 2\ 5\ 1\ 3\ 1\ 1\ 4\ 2\ 5\ 3\ 1]$, onde os pacientes 17, 10, 12 e 4 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 6, 22, 20, 11 e 7 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 13, 5, 1 e 16 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 3, 2, 15, 21, 9 e 8 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 18, 14 e 19 seriam visitados pelo carro 5, como se pode visualizar na Figura 5.12.

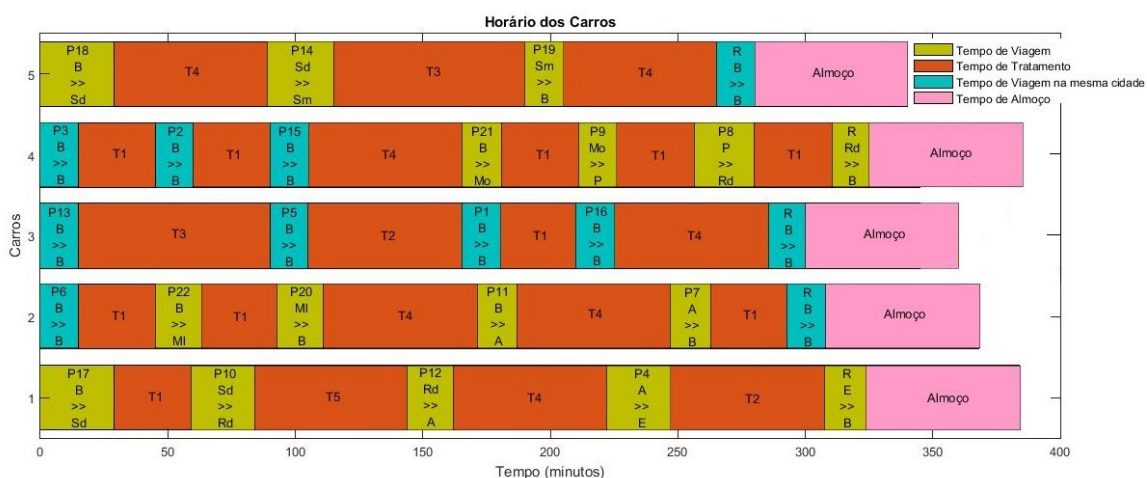


Figura 5.12: Horário dos carros para o dia 20 de abril com o PSO, na Abordagem 1.

Na Figura 5.12 consegue-se verificar que o veículo 4 realizou na sua rota seis visitas ao domicílio, demorando 325 minutos em todo o seu percurso.

Na Tabela 5.17 pode-se verificar os valores dos resultados de ambos os algoritmos e os resultados do Centro de Saúde para a obtenção dos horários do dia 20, concluindo que, neste caso, o algoritmo mais rápido e o que se obteve melhor resultado foi o PSO com o valor do tempo médio da execução de 0.41 minutos, o tempo máximo de 325 minutos e o tempo total gasto pelos cinco veículos foi menor que em ambas as soluções no GA.

Mais uma vez, pode ver-se que, o tempo máximo nos dados do Centro de Saúde foi superior ao tempo máximo dos dois algoritmos testados.

Tabela 5.17: Resultados para o dia 20, na Abordagem 1.

	GA		PSO	CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	328 min		325 min	448 min
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	1577 min	1556 min	1537 min	
Tempo médio da execução do método	0.75 min		0.41 min	
Número da execução onde foi obtido a solução	44	74	96	

Para o dia 21 foi obtida apenas uma solução com o GA, sendo esta $X = [13\ 21\ 1\ 2\ 10\ 12\ 20\ 6\ 8\ 17\ 16\ 7\ 3\ 4\ 14\ 18\ 5\ 19\ 9\ 11\ 15, 1\ 1\ 3\ 3\ 1\ 2\ 3\ 1\ 2\ 2\ 3\ 2\ 2\ 1\ 3\ 2\ 1\ 2\ 3\ 3\ 1]$, onde os pacientes 13, 21, 10, 6, 4, 5 e 15 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 12, 8, 17, 7, 3, 18 e 19 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 1, 2, 20, 16, 14, 9 e 11 seriam visitados pelo carro 3, como se verifica na Figura 5.13.

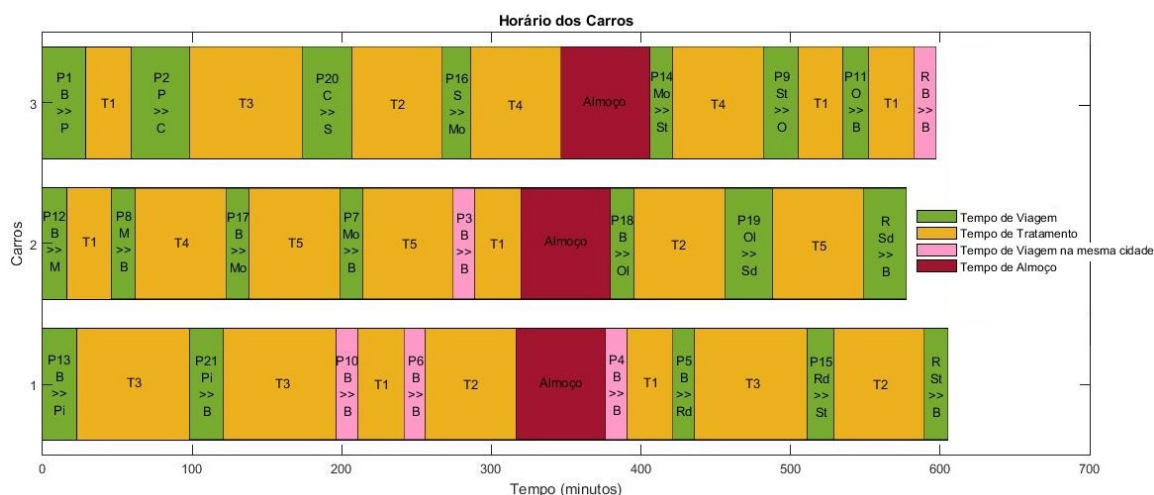


Figura 5.13: Horário dos carros para o dia 21 de abril com o GA, na Abordagem 1.

Na Figura 5.13 está representado que cada o carro visitou sete visitas domiciliárias, demorando 1599 minutos no total dos três veículos

O PSO, para o dia 21, apresentou a solução $X = [16\ 19\ 14\ 1\ 17\ 13\ 9\ 3\ 7\ 8\ 6\ 20\ 2\ 12\ 10\ 15\ 5\ 4\ 11\ 18\ 21,\ 3\ 3\ 1\ 2\ 2\ 2\ 1\ 2\ 2\ 3\ 1\ 3\ 1\ 2\ 3\ 1\ 1\ 3\ 2\ 2\ 3]$, onde os pacientes 14, 9, 6, 2, 15 e 5 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 1, 17, 13, 3, 7, 12, 11 e 18 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 16, 19, 8, 20, 10, 4 e 21 seriam visitados pelo carro 3, como se pode ver na Figura 5.14.

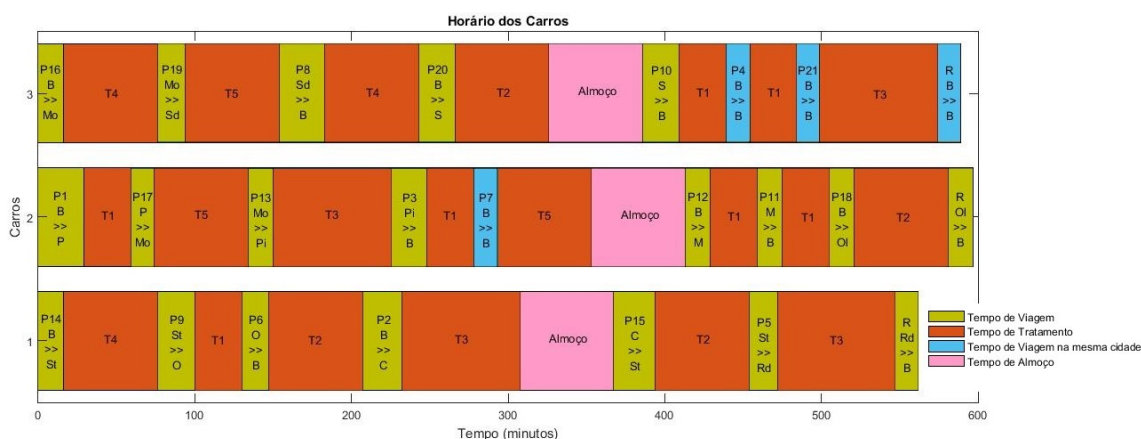


Figura 5.14: Horário dos carros para o dia 21 de abril com o PSO, na Abordagem 1.

Como se pode visualizar na Figura 5.14 o carro 2 necessitou de um tempo máximo de 537 minutos para percorrer a sua rota, sem o tempo de almoço. Já o carro 1 foi o que obteve um tempo máximo menor, em relação aos outros dois, de 502 minutos sem o tempo de almoço.

Na Tabela 5.18 verificam-se os valores dos resultados de ambos os algoritmos e os resultados do CS para a obtenção dos horários do dia 21, concluindo-se que, neste caso, o algoritmo mais rápido e o que se obteve melhor resultado foi novamente o PSO com o valor de tempo médio de execução de 0.38 minutos, um tempo máximo de 537 minutos e o tempo total gasto pelos 3 veículos foi também inferior no PSO.

É possível verificar também que, em comparação aos dados obtidos pelo Centro de Saúde, houve uma melhoria em ambas as soluções dos dois algoritmos, em relação ao tempo máximo.

Tabela 5.18: Resultados para o dia 21, na Abordagem 1.

	GA	PSO	CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	545 min	537 min	608 min
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	1599 min	1568 min	
Tempo médio da execução do método	0.68 min	0.38 min	
Número da execução onde foi obtido a solução	22	41	

Para o dia 22 o GA apresentou uma solução, $X = [3\ 19\ 14\ 9\ 23\ 6\ 16\ 20\ 13\ 15\ 8\ 10\ 17\ 2\ 11\ 12\ 4\ 21\ 7\ 1\ 18\ 5\ 22, 4\ 4\ 1\ 2\ 4\ 4\ 5\ 1\ 2\ 3\ 3\ 3\ 2\ 3\ 5\ 5\ 5\ 1\ 4\ 1\ 1\ 2\ 2]$, onde os pacientes 14, 20, 21, 1 e 18 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 9, 13, 17, 5 e 22 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 15, 8, 10 e 2 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 3, 19, 23, 6 e 7 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 16, 11, 12 e 4 seriam visitados pelo carro 5, como se visualizar na Figura 5.15.

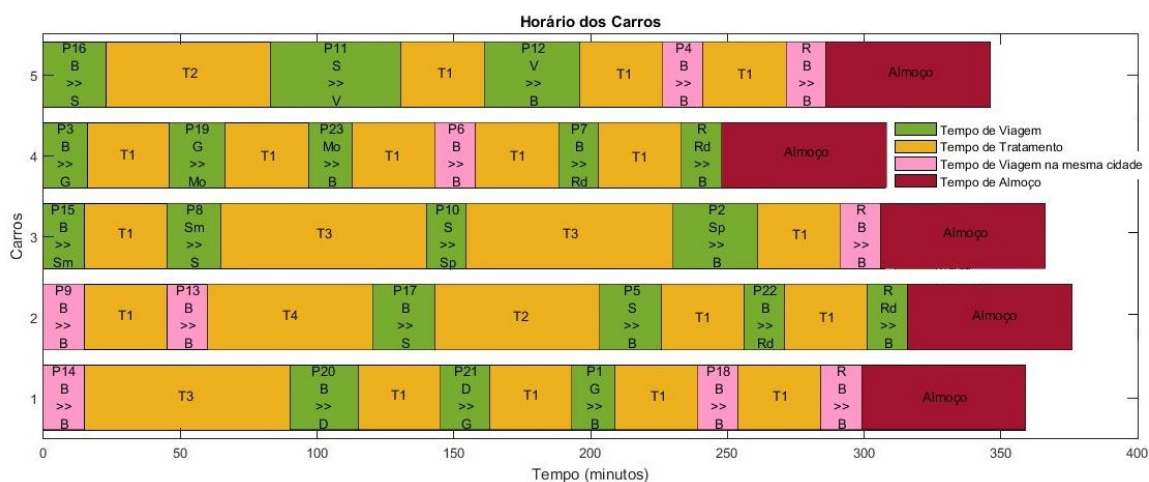


Figura 5.15: Horário dos carros para o dia 22 de abril com o GA, na Abordagem 1.

Na Figura 5.15 é possível verificar que o veículo 4 foi o que demorou menos tempo na sua rota, com um tempo máximo de 248 minutos, sem o tempo de almoço.

Com o algoritmo PSO para o dia 22 foram obtidas duas soluções com o mesmo tempo máximo,

pois o algoritmo consegue encontrar mais do que uma solução com o mesmo tempo máximo gasto pelo veículo durante a viagem, sendo estas apresentadas a seguir:

- $X_1 = [20\ 21\ 18\ 4\ 22\ 16\ 9\ 2\ 7\ 11\ 19\ 23\ 17\ 15\ 6\ 13\ 12\ 8\ 10\ 1\ 3\ 14\ 5, 2\ 3\ 3\ 3\ 3\ 4\ 4\ 5\ 5\ 1\ 4\ 2\ 2\ 4\ 1\ 4\ 3\ 2\ 1\ 3\ 1\ 5\ 5]$, onde os pacientes 11, 6, 10 e 3 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 20, 23, 17 e 8 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 21, 18, 4, 22, 12 e 1 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 16, 9, 19, 15 e 13 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 2, 7, 14 e 5 seriam visitados pelo carro 5, como se visualizar na Figura 5.16.

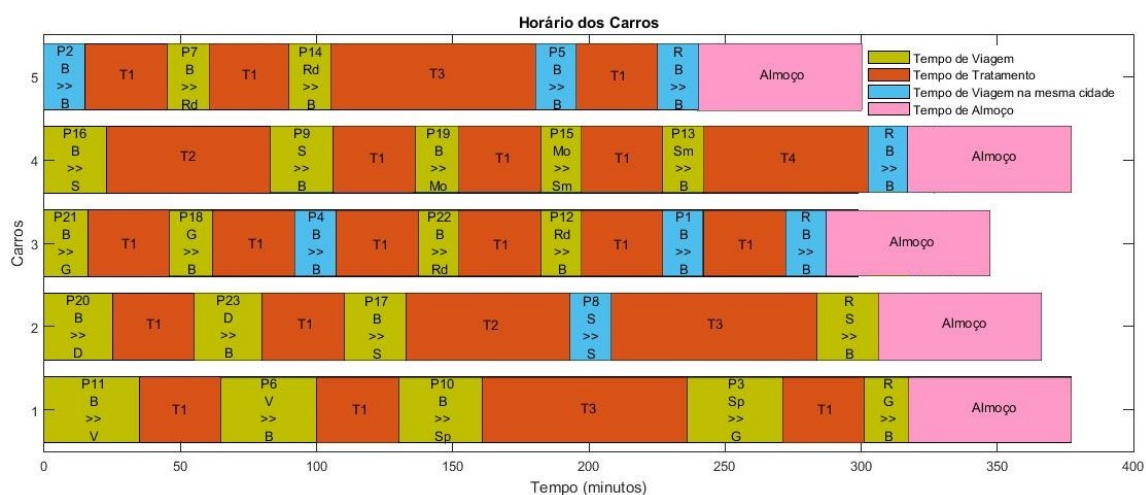


Figura 5.16: Horário dos carros, solução X_1 , para o dia 22 de abril com o PSO, na Abordagem 1.

Como se consegue ver na Figura 5.16, neste caso, os carros 1 e 4 precisaram de um tempo máximo de viagem de 317 minutos, sem o tempo de almoço.

- $X_2 = [12\ 10\ 6\ 7\ 19\ 22\ 2\ 23\ 16\ 8\ 11\ 13\ 4\ 3\ 5\ 17\ 1\ 18\ 20\ 15\ 14\ 9\ 21, 4\ 2\ 2\ 1\ 5\ 2\ 5\ 2\ 1\ 4\ 5\ 5\ 3\ 4\ 2\ 1\ 3\ 1\ 3\ 5\ 3\ 4\ 3]$, onde os pacientes 7, 16, 17 e 18 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 10, 6, 22, 23 e 5 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 4, 1, 20, 14 e 21 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 12, 8, 3 e 9 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 19, 2, 11 13 e 15 seriam visitados pelo carro 5, como se visualizar na Figura 5.17.

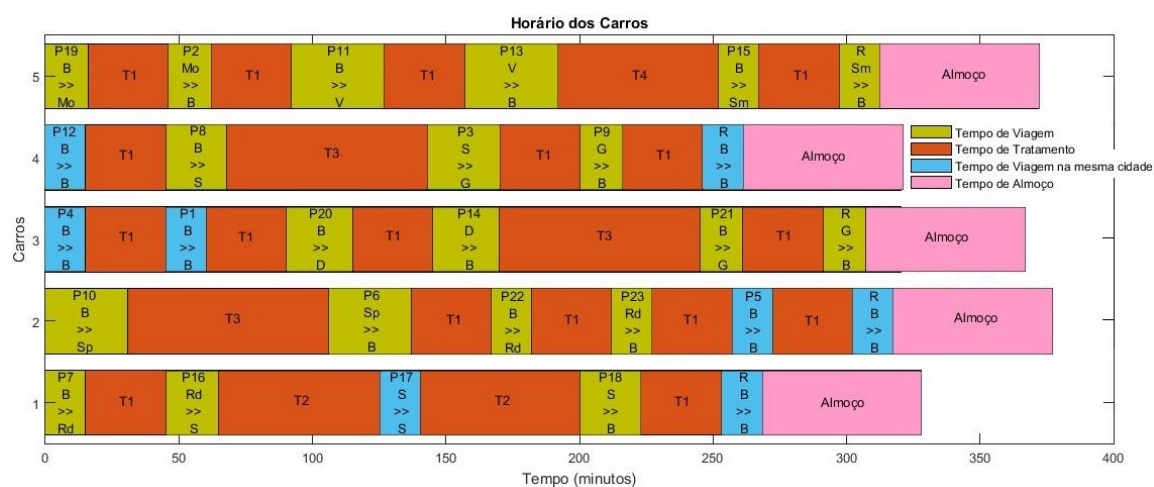


Figura 5.17: Horário dos carros, solução X_2 , para o dia 22 de abril com o PSO, na Abordagem 1.

É possível visualizar na Figura 5.17 que o veículo 2 precisou de mais tempo para realizar o seu percurso, com um tempo máximo de 317 minutos, sem o tempo de almoço. Já o veículo 4 só necessitou de 261 minutos para fazer toda a sua rota, sem o tempo de almoço.

A Tabela 5.19 mostra os valores dos resultados de ambos os algoritmos e os resultados do Centro de Saúde para a obtenção dos horários do dia 22, podendo-se concluir, neste caso, que o algoritmo mais rápido foi o PSO com o valor de tempo médio da execução de 0.44 minutos e o que se obteve melhor resultado foi o GA, pois o valor do tempo máximo foi de 316 minutos. O valor total gasto pelos cinco veículos foi também inferior no GA, em relação às soluções obtidas pelo PSO e aos dados do Centro de Saúde.

Neste caso, os dados obtidos pelo Centro de Saúde são aproximados, sendo que no PSO o tempo máximo é igual ao do Centro de Saúde.

Tabela 5.19: Resultados para o dia 22, na Abordagem 1.

	GA	PSO		CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	316 min	317 min		317 min
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	1455 min	1467 min	1465 min	
Tempo médio da execução do método	0.92 min	0.44 min		
Número da execução onde foi obtido a solução	45	34	59	

5.3.2 Minimização do tempo máximo e quilómetros efetuadas para a realização de todas as visitas

A segunda abordagem é uma melhoria da abordagem um, que foi sugerida pelo Centro de Saúde. Nesta, o que se pretende é obter-se as soluções, novamente da semana de 18 a 22 de abril de 2016, com o tempo máximo e o número de quilómetros máximo nas viagens dos veículos para realizarem as visitas ao domicílio.

Para as soluções obtidas nesta abordagem foram novamente utilizados os dados anteriores, que se encontram na secção 5.1.

Caso Real para o dia 18 de abril de 2016

Como já foi descrito no capítulo anterior para o dia 18 de abril, o Centro de Saúde tinha trinta e um pacientes com necessidade de visita domiciliária, quatro veículos para este fim, cinco tratamentos diferentes e doze locais a visitar.

Inicialmente foi aplicado o GA para a obtenção do horário do dia 18.

O GA, para o dia 18, encontrou uma solução sendo ela, $X = [19\ 7\ 1\ 12\ 14\ 9\ 20\ 29\ 18\ 24\ 15\ 11\ 28\ 23\ 16\ 22\ 26\ 2\ 31\ 5\ 4\ 8\ 6\ 25\ 30\ 17\ 27\ 21\ 3\ 10\ 13, 1\ 1\ 2\ 4\ 2\ 1\ 1\ 4\ 3\ 3\ 2\ 4\ 1\ 3\ 4\ 3\ 3\ 4\ 2\ 4\ 4\ 3\ 3\ 1\ 2\ 2\ 2\ 3\ 4\ 1\ 1]$, onde os pacientes 19, 7, 9, 20, 28, 25, 10 e 13 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 1, 14, 15,

31, 30, 17 e 27 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 18, 24, 23, 22, 26, 8, 6 e 21 seriam visitados pelo carro 3, e os pacientes 12, 29, 11, 16, 2, 5, 4 e 3 seriam visitados pelo carro 4, como se pode verificar na Figura 5.18.



Figura 5.18: Horário dos carros para o dia 18 de abril com o GA, na Abordagem 2.

Na Figura 5.18 pode-se verificar que o carro 3 foi o que demorou mais tempo a percorrer 148 km, com um tempo máximo de 535 minutos, sem o tempo de almoço.

O algoritmo PSO apresentou também uma solução, $X = [1\ 7\ 15\ 29\ 30\ 18\ 20\ 27\ 14\ 6\ 22\ 25\ 19\ 13\ 28\ 8\ 9\ 16\ 10\ 12\ 23\ 11\ 31\ 24\ 5\ 2\ 26\ 4\ 17\ 21\ 3, 2\ 1\ 1\ 3\ 3\ 3\ 1\ 4\ 1\ 4\ 3\ 1\ 2\ 3\ 4\ 2\ 2\ 1\ 2\ 4\ 2\ 3\ 2\ 2\ 3\ 4\ 4\ 4\ 3\ 2\ 1]$, onde os pacientes 7, 15, 20, 14, 25, 16 e 3 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 1, 19, 8, 9, 10, 23, 31, 24 e 21 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 29, 30, 18, 22, 13, 11, 5 e 17 seriam visitados pelo carro 3, e os pacientes 27, 6, 28, 12, 2, 26 e 4 seriam visitados pelo carro 4, como se pode verificar na Figura 5.19.

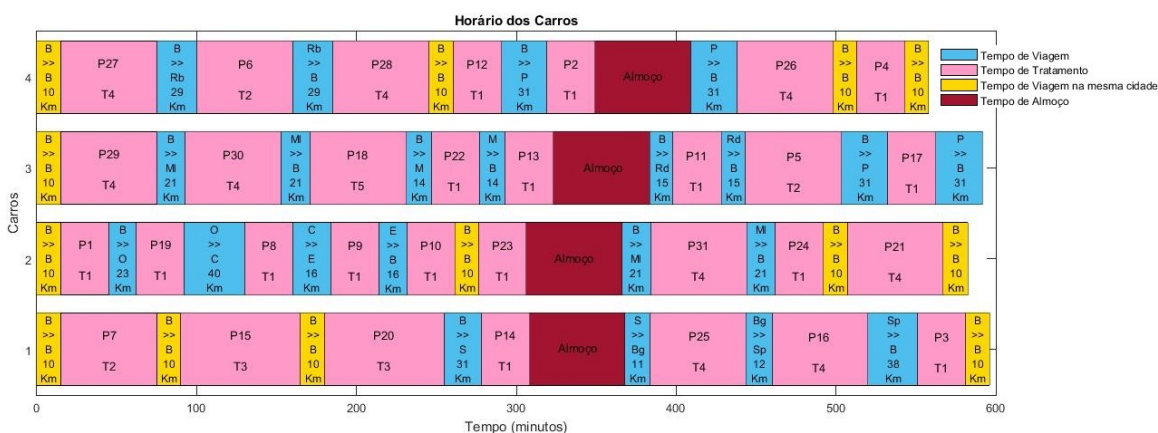


Figura 5.19: Horário dos carros para o dia 18 de abril com o PSO, na Abordagem 2.

Como é possível visualizar na Figura 5.19 o veículo 2 visitou o maior número de pacientes, nove pacientes.

Na Tabela 5.20 são apresentados os valores dos resultados de ambos os algoritmos e os resultados do Centro de Saúde para a obtenção dos horários do dia 18, onde se pode concluir que o PSO foi o mais rápido (tempo médio da execução = 1.04 minutos), mas o GA foi o que se obteve a melhor solução (tempo máximo, sem o tempo de almoço = 535 minutos e número de quilómetros máximo = 174 km).

Verifica-se também que, em comparação aos dados obtidos pelo Centro de Saúde, houve uma melhoria em ambas as soluções dos dois algoritmos, em relação ao tempo e número de quilómetros máximo.

Tabela 5.20: Resultados para o dia 18, na Abordagem 2.

	GA	PSO	CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	535 min	536 min	694 min
Número de quilómetros máximo gasto pelo carro na viagem	174 km	177 km	220 km
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	2086 min	2087 min	
Número de quilómetros gasto por todos os carros nas viagens	630 km	641 km	
Tempo médio da execução do método	1.93 min	1.04 min	
Número da execução onde foi obtido a solução	95	1	

Caso Real para o dia 19 de abril de 2016

No capítulo anterior foi descrito que neste dia o Centro de Saúde tinha vinte e cinco pacientes com necessidade de visita domiciliária, cinco veículos para este fim, cinco tratamentos diferentes e cinco locais a visitar.

O GA obteve duas soluções com o mesmo tempo máximo, para este dia, pois o algoritmo tem a capacidade de encontrar mais do que uma solução com o mesmo tempo máximo de viagem do veículo, sendo estas apresentadas a seguir:

- $X_1 = [3\ 25\ 11\ 6\ 23\ 15\ 14\ 16\ 17\ 12\ 22\ 8\ 4\ 21\ 10\ 13\ 19\ 5\ 24\ 2\ 1\ 7\ 18\ 9\ 20, 5\ 4\ 3\ 4\ 5\ 1\ 2\ 1\ 4\ 3\ 5\ 4\ 5\ 5\ 2\ 5\ 3\ 3\ 2\ 4\ 4\ 2\ 1\ 1\ 2]$, onde os pacientes 15, 16, 18 e 9 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 14, 10, 24, 7 e 20 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 11, 12, 19 e 5 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 25, 6, 17, 8, 2 e 1 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 3, 23, 22, 4, 21 e 13 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.20.

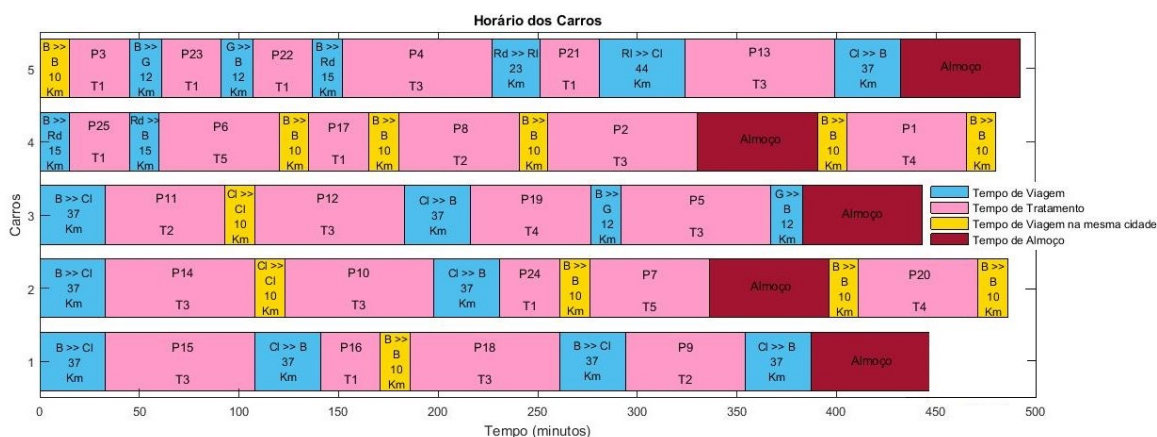


Figura 5.20: Horário dos carros, solução X_1 , para o dia 19 de abril com o GA, na Abordagem 2.

Neste caso, como se pode ver na figura anterior o carro 4 foi o que percorreu menos quilómetros na sua rota, 80 km. Já o carro 1 percorreu o maior número de quilómetros, 158 km.

- $X_2 = [25\ 9\ 24\ 8\ 5\ 13\ 22\ 6\ 3\ 23\ 20\ 21\ 7\ 14\ 17\ 16\ 10\ 15\ 19\ 2\ 11\ 1\ 12\ 18\ 4, 1\ 5\ 3\ 2\ 1\ 4\ 4\ 3\ 4\ 1\ 3\ 3\ 4\ 3\ 2\ 4\ 5\ 1\ 4\ 5\ 1\ 2\ 5\ 2\ 2]$, onde os pacientes 25, 5, 23, 15 e 11 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 8, 17, 1, 18 e 4 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 24, 6, 20, 21 e 14 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 13, 22, 3, 7, 16 e 19 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 9, 10, 2 e 12 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.21.

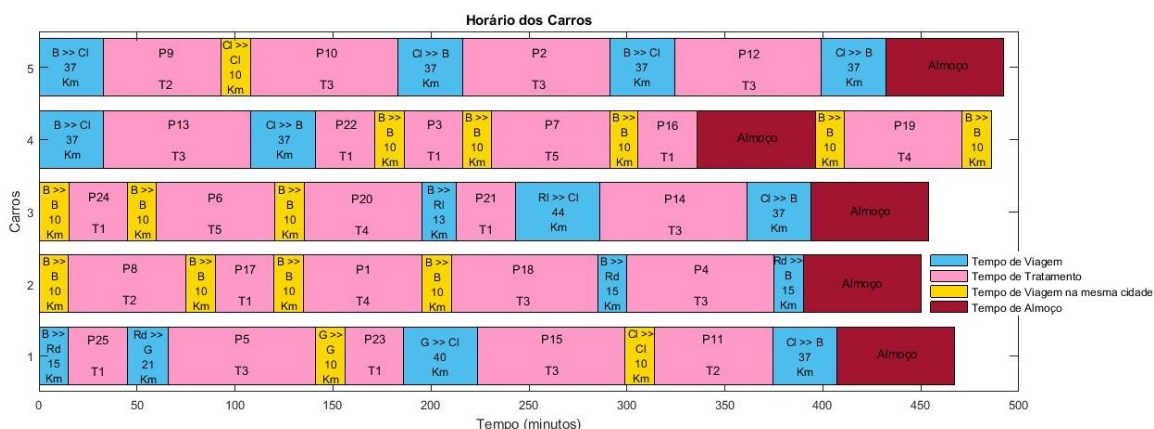


Figura 5.21: Horário dos carros, solução X_2 , para o dia 19 de abril com o GA, na Abordagem 2.

Em relação ao caso 2, na figura anterior, é possível verificar que o carro 5 apenas visitou 4 pacientes, mas foi aquele que gastou mais tempo e mais quilómetros percorridos na sua viagem, 432 minutos e 158 km, respetivamente, devido aos tratamentos dos pacientes serem mais demorados.

Para o PSO foi obtida uma única solução, sendo esta apresentada de seguida, $X = [5\ 9\ 21\ 20\ 3\ 13\ 25\ 4\ 18\ 11\ 2\ 8\ 17\ 22\ 1\ 16\ 7\ 6\ 19\ 12\ 10\ 15\ 24\ 23\ 14, 4\ 2\ 5\ 1\ 5\ 4\ 5\ 5\ 1\ 3\ 5\ 2\ 3\ 5\ 4\ 3\ 4\ 1\ 2\ 3\ 1\ 3\ 4\ 1\ 2]$, onde os pacientes 20, 18, 6, 10 e 23 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 9, 8, 19 e 14 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 11, 17, 16, 12 e 15 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 5, 13, 1, 7 e 24 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 21, 3, 25, 4, 2 e 22 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.22.

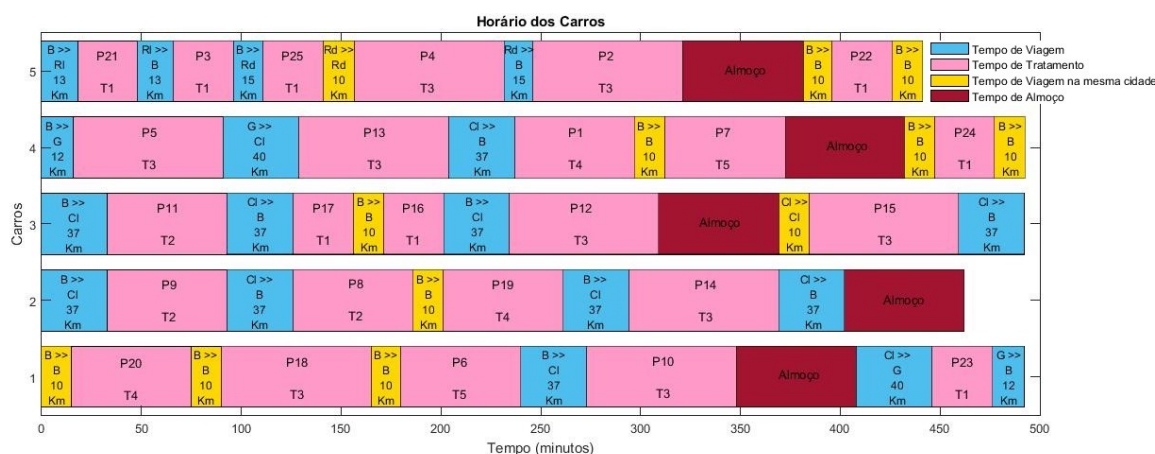


Figura 5.22: Horário dos carros para o dia 19 de abril com o PSO, na Abordagem 2.

Na Figura 5.22 os veículos 1, 3 e 4 necessitaram de 432 minutos cada um para fazer o seu percurso.

Na Tabela 5.21 são apresentados os valores dos resultados de ambos os algoritmos e os resultados do Centro de Saúde para a obtenção dos horários do dia 19, onde se verifica que em ambos os algoritmos o tempo máximo, sem o tempo de almoço é de 432 minutos, sendo que o PSO foi o mais

rápido (tempo médio da execução = 1.22 minutos) a obter a solução. Porém, neste caso, o GA foi o que obteve a melhor solução em relação ao número de quilómetros máximo, 158 km e ao tempo máximo de todos os carros que foi menor no caso 1.

É possível verificar-se também que, em comparação aos dados obtidos pelo Centro de Saúde, houve uma grande melhoria em ambas as soluções dos dois algoritmos, em relação ao tempo máximo e ao número de quilómetros máximo.

Tabela 5.21: Resultados para o dia 19, na Abordagem 2.

	GA		PSO	CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	432 min		432 min	651 min
Número de quilómetros máximo gasto pelo carro na viagem	158 km		168 km	134 km
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	2048 min	2049 min	2079 min	
Número de quilómetros gasto por todos os carros nas viagens	613 km	609 km	650 km	
Tempo médio da execução do método	1.88 min		1.22 min	
Número da execução onde foi obtido a solução	35	54	30	

Caso Real para o dia 20 de abril de 2016

Como já foi referido anteriormente o Centro de Saúde neste dia tinha vinte e dois pacientes com necessidade de visita domiciliária, cinco veículos para este fim, cinco tratamentos diferentes e nove locais a visitar.

Foi aplicado primeiramente o algoritmo genético em que foi obtida apenas uma solução para este dia, sendo esta $X = [4\ 6\ 16\ 3\ 8\ 18\ 22\ 21\ 14\ 7\ 12\ 15\ 1\ 5\ 10\ 20\ 11\ 9\ 13\ 17\ 19\ 2, 2\ 5\ 2\ 3\ 2\ 4\ 5\ 3\ 5\ 1\ 1\ 4\ 4\ 5\ 1\ 4\ 2\ 3\ 1\ 3\ 3\ 5]$, onde os pacientes 7, 12, 10 e 13 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 4, 16, 8 e 11 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 3, 21, 9, 17 e 19 seriam visitados pelo carro 3, os

pacientes 18, 15, 1 e 20 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 6, 22, 14, 5 e 2 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.23.

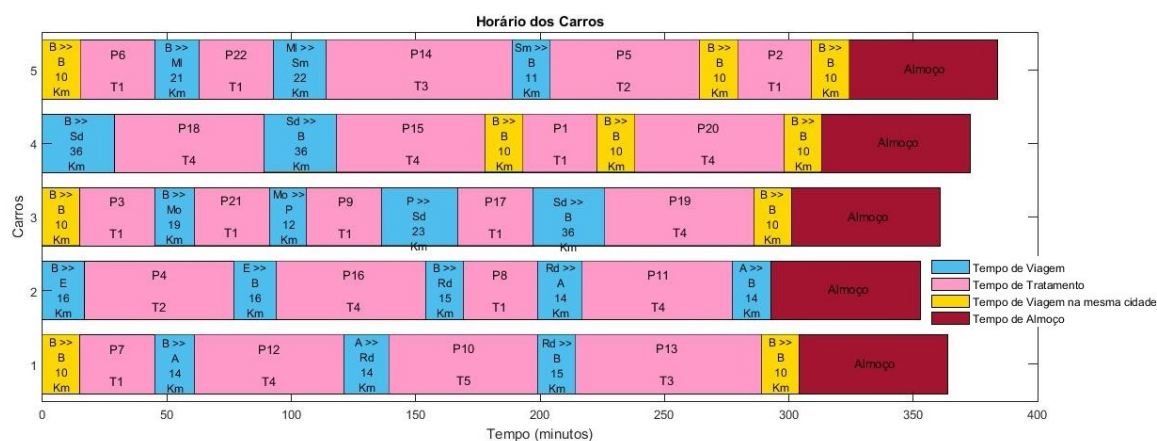


Figura 5.23: Horário dos carros para o dia 20 de abril com o GA, na Abordagem 2.

Na Figura 5.23 podemos visualizar que os veículos percorreram 439 km nas suas viagens.

Para o PSO foi obtida também uma solução, sendo esta $X = [19\ 4\ 5\ 7\ 9\ 22\ 18\ 21\ 12\ 1\ 11\ 3\ 16\ 20\ 14\ 8\ 2\ 10\ 6\ 17\ 13\ 15, 1\ 3\ 2\ 2\ 3\ 2\ 4\ 2\ 3\ 1\ 1\ 5\ 5\ 4\ 2\ 5\ 5\ 3\ 4\ 4\ 5\ 1]$, onde os pacientes 19, 1, 11 e 15 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 5, 7, 22, 21 e 14 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 4, 9, 12 e 10 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 18, 20, 6 e 17 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 3, 16, 8, 2 e 13 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.24.

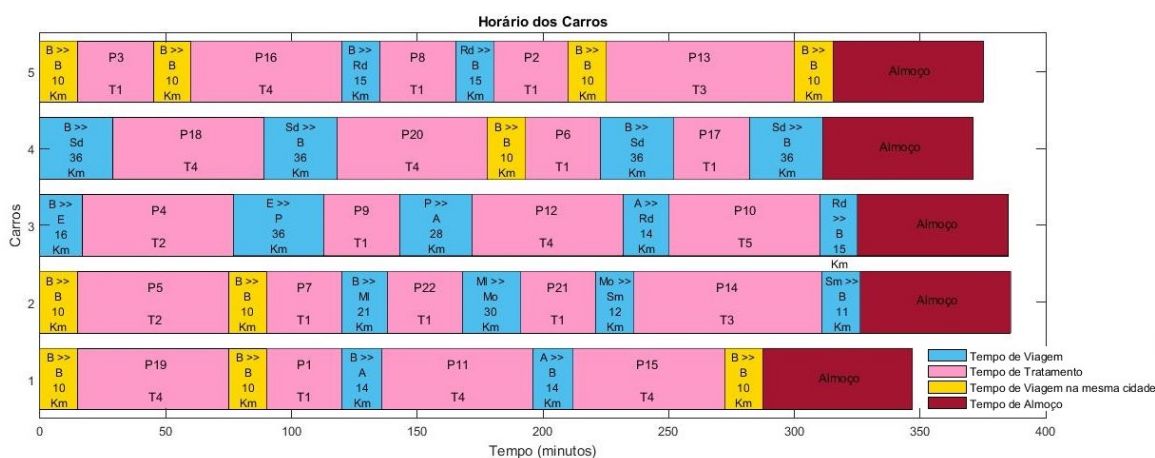


Figura 5.24: Horário dos carros para o dia 20 de abril com o PSO, na Abordagem 2.

Na figura anterior verifica-se que o veículo 1 foi o que percorreu menos quilómetros, 58 km e o que dispendeu de um menor tempo de viagem, 287 minutos. Já o carro 2 precisou de 326 minutos para realizar a sua rota. O veículo que andou mais quilómetros foi o veículo 4, 154 km.

Na Tabela 5.22 pode-se verificar os valores dos resultados de ambos os algoritmos e os resultados do Centro de Saúde para a obtenção dos horários do dia 20, onde se verifica, novamente, que o PSO foi mais rápido a obter a solução (tempo médio de execução = 1.23 minutos). Todavia, o GA foi o que obteve a melhor solução, em que o tempo máximo gasto na viagem foi de 324 minutos e o número de quilómetros gasto foi de 100 km.

É possível verificar-se também que, em comparação aos dados obtidos pelo Centro de Saúde, houve um melhoramento em ambas as soluções dos dois algoritmos, em relação ao tempo e número de quilómetros máximos.

Tabela 5.22: Resultados para o dia 20, na Abordagem 2.

	GA	PSO	CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	324 min	326 min	448 min
Número de quilómetros máximo gasto pelo carro na viagem	110 km	154 km	114 km
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	1535 min	1564 min	
Número de quilómetros gasto por todos os carros nas viagens	439 km	485 km	
Tempo médio da execução do método	1.78 min	1.23 min	
Número da execução onde foi obtido a solução	99	67	

Caso Real para o dia 21 de abril de 2016

Como já foi referido no capítulo anterior o Centro de Saúde no dia 21 de abril tinha vinte e um pacientes com necessidade de visita domiciliária, três veículos para este fim, cinco tratamentos diferentes e doze locais para visitar.

O GA apresentou uma única solução, sendo esta $X = [1\ 4\ 13\ 11\ 18\ 21\ 2\ 14\ 19\ 9\ 20\ 6\ 10\ 15\ 16\ 12\ 8\ 7\ 5\ 17\ 3, 3\ 2\ 3\ 1\ 1\ 1\ 3\ 2\ 2\ 1\ 2\ 2\ 1\ 2\ 3\ 1\ 1\ 1\ 3\ 2\ 3]$, onde os pacientes 11, 18, 21, 9, 10, 12, 8 e 7 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 4, 14, 19, 20, 6, 15 e 17 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 1, 13, 2, 16, 5 e 3 seriam visitados pelo carro 3, como se verifica na Figura 5.25.

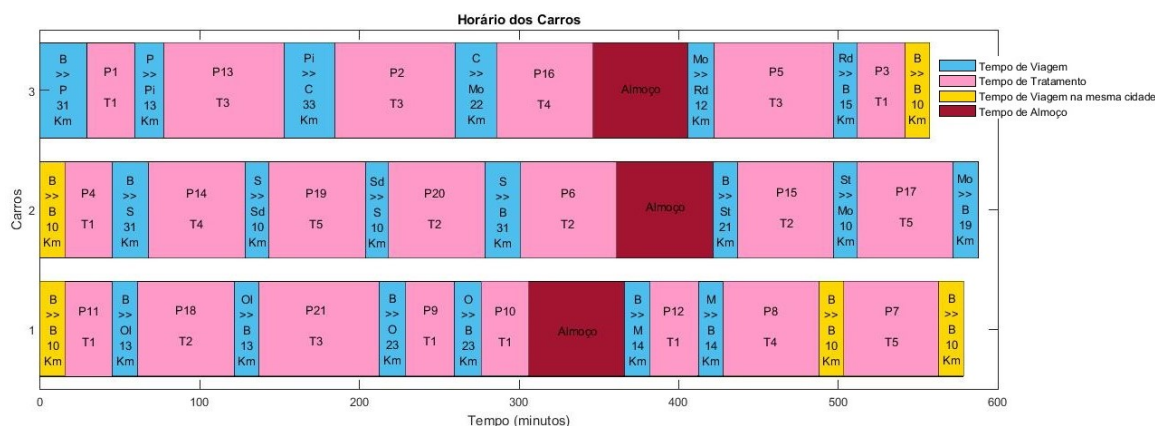


Figura 5.25: Horário dos carros para o dia 21 de abril com o GA, na Abordagem 2.

Neste caso, é possível verificar-se que os carros gastaram 1543 minutos e percorreram 408 km, nos seus percursos.

Para o PSO foi obtida também uma solução, sendo esta $X = [14\ 10\ 17\ 11\ 20\ 12\ 7\ 18\ 5\ 21\ 6\ 19\ 13\ 15\ 9\ 8\ 1\ 16\ 13\ 4\ 2, 2\ 2\ 2\ 3\ 2\ 1\ 3\ 3\ 2\ 1\ 3\ 3\ 1\ 2\ 2\ 1\ 1\ 1\ 3\ 3\ 1]$, onde os pacientes 12, 21, 1, 9, 8, 16 e 2 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 14, 10, 17, 20, 5, 3 e 15 seriam visitados pelo carro 2 e os pacientes 11, 7, 18, 6, 19, 13 e 4 seriam visitados pelo carro 3, como se pode verificar na Figura 5.26.

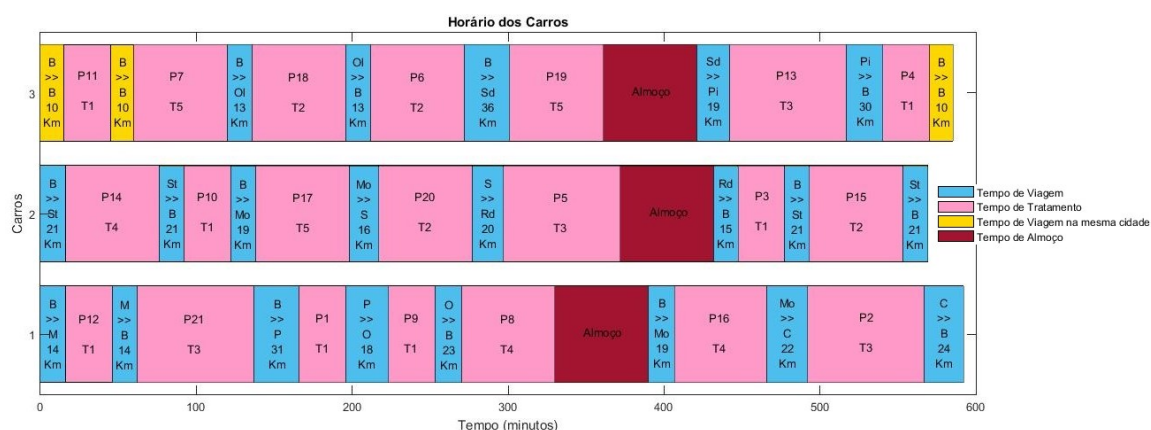


Figura 5.26: Horário dos carros para o dia 21 de abril com o PSO, na Abordagem 2.

Como se pode visualizar na Figura 5.26 o veículo 1 gastou mais tempo e percorreu um maior número de quilómetros, em relação aos outros, na sua rota, com 532 minutos e 165 km.

Como se pode verificar na Tabela 5.23, onde estão os valores dos resultados de ambos os algoritmos e os resultados do Centro de Saúde para a obtenção dos horários do dia 21, o algoritmo mais rápido foi novamente o PSO com um tempo médio de execução de 1.10 minutos. Contudo, o GA foi novamente o que obteve a melhor solução com um tempo máximo de 528 minutos e um número de quilómetros máximo de 142 km.

Também se pode verificar nesta tabela que os resultados do Centro de Saúde foram superiores aos obtidos por ambos os algoritmos.

Tabela 5.23: Resultados para o dia 21, na Abordagem 2.

	GA	PSO	CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	528 min	532 min	608 min
Número de quilómetros máximo gasto pelo carro na viagem	142 km	165 km	234 km
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	1543 min	1566 min	
Número de quilómetros gasto por todos os carros nas viagens	408 km	460 km	
Tempo médio da execução do método	1.62 min	1.10 min	
Número da execução onde foi obtido a solução	11	19	

Caso Real para o dia 22 de abril de 2016

Como já foi referido anteriormente o Centro de Saúde no dia 22 de abril tinha vinte e três pacientes com necessidade de visita domiciliária, cinco veículos para este fim, quatro tratamentos diferentes e nove locais diferentes para visitar.

O algoritmo genético, neste dia encontrou uma solução, $X = [3\ 19\ 14\ 9\ 23\ 6\ 16\ 20\ 13\ 15\ 8\ 10\ 17\ 2\ 11\ 12\ 4\ 21\ 7\ 1\ 18\ 5\ 22, 4\ 4\ 1\ 2\ 4\ 4\ 5\ 1\ 2\ 3\ 3\ 3\ 2\ 3\ 5\ 5\ 5\ 1\ 4\ 1\ 1]$, onde os pacientes 14, 20, 21, 1 e 18 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 9, 13, 17, 5 e 22 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 15, 8, 10 e 2 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 3, 19, 23, 6 e 7 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 16, 11, 12 e 4 seriam visitados pelo carro 5, como se pode verificar na Figura 5.27.



Figura 5.27: Horário dos carros para o dia 22 de abril com o GA, na Abordagem 2.

Na figura anterior, consegue-se ver que o carro que percorreu mais quilómetros na sua rota foi o carro 5, 138 km e demorou 286 minutos no seu percurso, sem o tempo de almoço.

O PSO conseguiu encontrar também uma solução, sendo esta $X = [9\ 14\ 18\ 17\ 16\ 7\ 23\ 8\ 19\ 21\ 3\ 20\ 1\ 10\ 11\ 6\ 2\ 22\ 5\ 12\ 15\ 4\ 13, 5\ 5\ 2\ 4\ 4\ 5\ 1\ 2\ 3\ 3\ 3\ 1\ 4\ 1\ 3\ 3\ 1\ 5\ 2\ 5\ 4\ 4\ 2]$, onde os pacientes 23, 20, 10 e 2 seriam visitados pelo carro 1, os pacientes 18, 8, 5 e 13 seriam visitados pelo carro 2, os pacientes 19, 21, 3, 11 e 6 seriam visitados pelo carro 3, os pacientes 17, 16, 1, 15 e 4 seriam visitados pelo carro 4, e os pacientes 9, 14, 7, 22 e 12 seriam visitados pelo carro 5, como se pode ver na Figura 5.28.

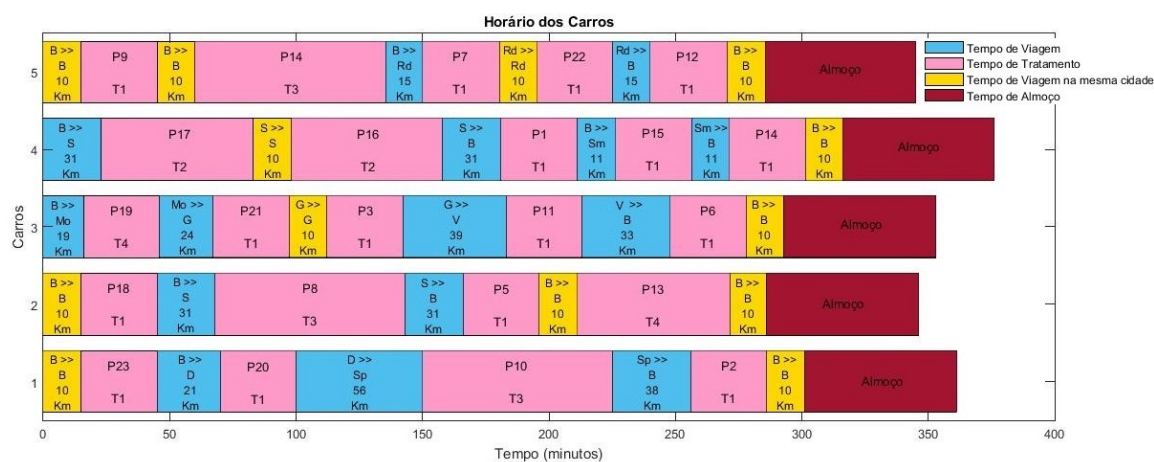


Figura 5.28: Horário dos carros para o dia 22 de abril com o PSO, na Abordagem 2.

Na Figura 5.28 visualiza-se que o carro 5 percorreu o menor número de quilómetros e o menor tempo de viagem na sua rota em relação aos restantes veículos, 70 km e 285 minutos, respetivamente.

Na Tabela 5.24 estão representados os valores dos resultados de ambos os algoritmos e os resultados do Centro de Saúde para a obtenção dos horários do dia 22, sendo que em ambos os algoritmos foi obtido um tempo máximo igual a 316 min. No entanto, verifica-se que no PSO o carro percorreu um número de quilómetros máximo inferior ao do GA.

Também se verifica nesta tabela que o tempo utilizado pelo carro do Centro de Saúde foi superior ao obtido por ambos os algoritmos.

Tabela 5.24: Resultados para o dia 22, na Abordagem 2.

	GA	PSO	CS
Tempo máximo gasto pelo carro que demorou mais tempo sem o tempo de almoço	316 min	316 min	317 min
Número de quilómetros máximo gasto pelo carro na viagem	138 km	135 km	114 km
Tempo gasto por todos os carros sem o tempo de almoço	1455 min	1481 min	
Número de quilómetros gasto por todos os carros nas viagens	517 km	536 km	
Tempo médio da execução do método	1.97 min	1.04 min	
Número da execução onde foi obtido a solução	45	12	

5.3.3 Conclusão entre as duas abordagens

Depois de se realizarem as duas abordagens, secções 5.2.1.1 e 5.2.1.2, verificou-se que em ambas os horários tiveram um número de quilómetros e um tempo de viagem equilibrados para todos os carros em relação aos horários fornecidos pelo Centro de Saúde. As duas abordagens foram importantes para este projeto, sendo que a segunda tem mais informação, tempo gasto e número de quilómetros percorridos na viagem, podendo esta ser mais interessante para o objetivo final da USSMB.

Capítulo 6

Conclusões e perspectivas futuras

Em Portugal, os serviços de saúde prestados ao domicílio são cada vez mais importantes e em crescimento, devido a uma população cada vez mais envelhecida, em particular na região de Bragança.

Todavia, existe cada vez mais procura por soluções para este problema.

Atualmente, já existem alguns sistemas de apoio de saúde, no entanto é usual serem apresentadas soluções sem recorrer a nenhuma estratégia de otimização, podendo as soluções obtidas não serem as melhores.

De modo a reduzir os custos envolvidos nestes serviços ao domicílio, é necessário utilizar estratégias que minimizem os tempos totais gastos nas viagens de visitas ao domicílio, sem piorar a qualidade destes serviços.

Assim, a otimização pode ser aplicada no contexto de Unidades de Saúde com um grande benefício, isto é, no planeamento e escalonamento de veículos que transportam os profissionais de saúde às habitações dos pacientes com necessidade de tratamentos ao domicílio.

Neste trabalho foram aplicados dois algoritmo de otimização, o GA e o PSO. O Algoritmo Genético tem sido muito utilizado na resolução destes problemas complexos, apresentando muitas vezes diferentes soluções de escalonamento para o mesmo problema. Assim como o PSO é utilizado também nestes problemas para melhorar as soluções, uma vez que, é um algoritmo mais rápido a obter as suas soluções.

Neste projeto, com a formulação matemática do problema e com a recolha de todos os dados, procedeu-se aos testes dos modelos desenvolvidos computacionalmente, apresentados no capítulo 4, de modo a verificarem-se a sua capacidade de solução correta em relação ao problema real em estudo e podendo então avaliar a aplicabilidade dos resultados obtidos, como rotas definidas, distâncias percorridas pelos veículos e tempo necessário. Nesta etapa, analisaram-se diferentes cenários, efetuando-se de seguida a sua análise, com o intuito de melhorar o funcionamento do problema em questão.

De seguida, foram realizadas duas abordagens para o mesmo problema real e com o mesmo objetivo de reduzir o tempo das viagens. Em ambas foram aplicados os dois algoritmos estudados neste trabalho, Algoritmo Genético e Algoritmo de Enxame de Partículas. Na primeira abordagem, o objetivo era obter escalonamentos com o tempo máximo gasto pelos veículos. Já na segunda abordagem, o objetivo era obter escalonamentos com o tempo máximo gasto pelos veículos e as distâncias máximas percorridas pelos veículos.

Foram realizados escalonamentos para cada dia da semana dos dias 18 a 22 de abril de 2016.

Em ambas as abordagens verificou-se que os Algoritmos GA e PSO obtiveram melhores soluções, realizadas computacionalmente, em comparação às soluções, realizadas manualmente, do Centro de Saúde de Bragança. Entre os dois algoritmos verificou-se que, na maior parte das soluções, o PSO foi mais rápido na obtenção destas, mas o GA, apesar de demorar mais tempo, obteve melhores resultados, pois o PSO além de ser mais rápido, por vezes, não consegue ultrapassar a capacidade do GA em relação às soluções.

Para os dias 18, 20 e 21 de abril de 2016, na primeira abordagem, verificou-se que o PSO foi o melhor algoritmo, com um tempo máximo gasto pelo veículo que mais demorou na viagem de 536 minutos, 325 minutos e 537 minutos, respetivamente. Em relação aos resultados do Centro de Saúde verificou-se uma grande melhoria em que o tempo máximo gasto pelo veículo que mais demorou na viagem foi de 694 minutos, 448 minutos e 608 minutos, respetivamente.

Para os dias 19 e 22 de abril de 2016, na primeira abordagem, verificou-se que o GA foi o

melhor algoritmo, com um tempo máximo gasto pelo veículo que mais demorou na viagem de 428 minutos e 316 minutos, respetivamente. Em relação aos resultados do Centro de Saúde verificou-se novamente uma grande melhoria em que o tempo máximo gasto pelo veículo que mais demorou na viagem foi de 651 minutos e 317 minutos, respetivamente.

Na segunda abordagem, para os dias 18, 19, 20 e 21 de abril de 2016, o melhor algoritmo foi o GA com um tempo máximo gasto pelo veículo que mais demorou na viagem e um número máximo de quilómetros percorridos por este de, 535 minutos e 174 km, 432 minutos e 158 km, 324 minutos e 110 km, e 528 minutos e 142 km, respetivamente. Em relação aos resultados obtidos pelo Centro de Saúde verificou-se novamente uma melhoria em que o tempo máximo gasto pelo veículo que mais demorou na viagem e o número máximo de quilómetros percorridos por este foi de, 694 minutos e 220 km, 651 minutos e 134 km, 448 minutos e 114 km, e 608 minutos e 234 km, respetivamente.

Já para o dia 22 de abril de 2016, verificou-se que o melhor algoritmo foi o PSO, uma vez que, o tempo máximo gasto pelo veículo que mais demorou na viagem e o número máximo de quilómetros percorridos por este foi 316 minutos e 135 km. Em relação aos resultados obtidos pelo Centro de Saúde verificou-se novamente uma melhoria no tempo máximo gasto pelo veículo que mais demorou na viagem e um número máximo de quilómetros percorridos superior ao do PSO, 317 minutos e 114 km. Isto aconteceu apenas neste caso, mas conclui-se que a melhor solução foi a do algoritmo PSO, pois o objetivo principal era diminuir o tempo máximo gasto pelo veículo que mais demorou na viagem ao domicílio.

Conclui-se então com estes resultados, que ambos os algoritmos são eficazes em relação aos resultados do Centro de Saúde, sendo que o PSO é o mais rápido a obter soluções. Para além disso, verifica-se também que estes dois algoritmos conseguem obter mais do que uma solução para o mesmo problema e com os mesmos valores, onde a Unidade de Saúde pode optar por diferentes soluções, por exemplo, mensalmente.

Este problema real na Unidade de Saúde de Bragança foi eficientemente resolvido, sendo a solução ótima obtida rapidamente em relação à solução do Centro de Saúde. Com isto, é possível

verificar uma grande melhoria para todas as pessoas envolvidas, profissionais de saúde e pacientes, nesta situação de visitas ao domicílio.

Apesar dos objetivos terem sido atingidos e os resultados terem sido bastante satisfatórios, futuramente, pode-se adaptar a metodologia desenvolvida numa aplicação *web*, em que todos os planeamentos e soluções obtidas poderiam ser manipuladas *online* e ser feita uma gestão logística também *online*, permitindo uma fácil visualização e acesso em qualquer equipamento ligado à internet.

Bibliografia

- [1] *Derivadas y representación*, <http://dieumsnh.qfb.umich.mx/DIFERENCIAL/representacion\-grafica.htm>, Accessed: 2016-11-27.
- [2] *Diagrams*, <https://www.draw.io/>, Accessed: 2017-01-13.
- [3] *Microcalcificações na mama*, <http://www.rb.org.br/imagens/v48n3a16-fig01.jpg>, Accessed: 2017-01-09.
- [4] *Técnicas*, <http://www.ilab.com.br/tecnicas.html>, Accessed: 2016-11-27.
- [5] *Particle swarm optimization*, <https://xpertsvision.wordpress.com/2015/06/11/particle-swarm-optimization/>, 2015, Accessed: 2017-04-21.
- [6] D. J. Aloise, M. C. de Oliveira, and T. L. Silva, *Otimização discreta por nuvem de partículas aplicada ao problema do caixeiro viajante*, *Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas* **1** (2006), no. 1, 87.
- [7] F. Alves, *Estudo sobre os procedimentos ótimos de visitas domiciliares em unidades de saúde*, (2016).
- [8] J. Aubin, *Scheduling ambulances*, *Interfaces* **22** (1992), no. 2, 1–10.

- [9] D. Bento, D. Pinho, A. I. Pereira, and R. Lima, *Genetic algorithm and particle swarm optimization combined with powell method*, Numerical Analysis and Applied Mathematics. Book Series: AIP Conference Proceedings **I-III (1558)** (2013), 578–581.
- [10] R. Eberhart and J. Kennedy, *New optimizer using particle swarm theory*, Micro Machine and Human Science, 1995. MHS'95., Proceedings of the Sixth International Symposium on, IEEE, 1995, pp. 39–43.
- [11] R. C. Eberhart, Y. Shi, and J. Kennedy, *Swarm intelligence*, Elsevier, 2001.
- [12] M. Gendreau, *An introduction to tabu search*, Springer, 2003.
- [13] A. Ghaheri, S. Shoar, M. Naderan, and S. S. Hoseini, *The applications of genetic algorithms in medicine*, Oman medical journal **30** (2015), no. 6, 406.
- [14] Fred Glover and Manuel Laguna, *Tabu search*—, Handbook of Combinatorial Optimization, Springer, 2013, pp. 3261–3362.
- [15] T. Ishida, I. Nishimura, H. Tanino, M. Higa, H. Ito, and Y. Mitamura, *Use of a genetic algorithm for multiobjective design optimization of the femoral stem of a cemented total hip arthroplasty*, Artificial organs **35** (2011), no. 4, 404–410.
- [16] M. Karnan and K. Thangavel, *Automatic detection of the breast border and nipple position on digital mammograms using genetic algorithm for asymmetry approach to detection of microcalcifications*, Computer methods and programs in biomedicine **87** (2007), no. 1, 12–20.
- [17] A. S. Khalil, B. E. Bouma, and M. R. Mofrad, *A combined fem/genetic algorithm for vascular soft tissue elasticity estimation*, Cardiovascular Engineering **6** (2006), no. 3, 93–102.
- [18] T. Latkowski and S. Osowski, *Computerized system for recognition of autism on the basis of gene expression microarray data*, Computers in biology and medicine **56** (2015), 82–88.

- [19] T. C. Lin, R. S. Liu, Y. T. Chao, and S. Y. Chen, *Classifying subtypes of acute lymphoblastic leukemia using silhouette statistics and genetic algorithms*, *Gene* **518** (2013), no. 1, 159–163.
- [20] R. Liu, X. Xie, V. Augusto, and C. Rodriguez, *Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care*, *European Journal of Operational Research* **230** (2013), no. 3, 475–486.
- [21] M. A. Loureiro, *Optimização de rotas de transporte de doentes programados: O caso da cruz vermelha portuguesa amadora–sintra*, (2010).
- [22] D. S. Mankowska, F. Meisel, and C. Bierwirth, *The home health care routing and scheduling problem with interdependent services*, *Health care management science* **17** (2014), no. 1, 15–30.
- [23] A. Marques and F. Morgado, *Application of a genetic algorithm to a scheduling assignment problem*, *CISUC - Center of Informatics and Systems of University of Coimbra*, 5.
- [24] L. F. Martha, *Traçado automático de envoltórias de esforços em estruturas planas utilizando um algoritmo evolucionário*, Ph.D. thesis, PUC-Rio, 2005.
- [25] MathWorks, *Matlab*, <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>, Accessed: 2017-09-13.
- [26] C. Matos, D. Santos, D. Salgado, and M. A. Martins, *Fundamentos e ensino de álgebra - programação linear*, *Fundamentos e Ensino de Álgebra*, 1–45.
- [27] A. A. Mineiro, *Aplicação de programação não-linear como ferramenta de auxílio à tomada de decisão na gestão de um clube de investimento*, Ph.D. thesis, Dissertação (Engenharia de Produção). Itajubá: UNIFEI, 2007.
- [28] R. M. C. Monserrat and M. D. Paz, *Terapia guiada por objetivos durante la artroplastia total de cadera bajo anestesia regional*, <http://anestesiario.org/2012/>

terapia-guiada-por-objetivos-durante-la-artroplastia-total-de-\
\cadera-bajo-anestesia-regional, 2012, Accessed: 2017-01-09.

- [29] L. B. Nguyen, A. V. Nguyen, S. H. Ling, and H. T. Nguyen, *Combining genetic algorithm and levenberg-marquardt algorithm in training neural network for hypoglycemia detection using eeg signals*, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE, IEEE, 2013, pp. 5386–5389.
- [30] H. Ocak, *A medical decision support system based on support vector machines and the genetic algorithm for the evaluation of fetal well-being*, Journal of medical systems **37** (2013), no. 2, 9913.
- [31] A. I. Pereira, *Matemática aplicada*, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2014.
- [32] S. S. Rao, *Engineering optimization: theory and practice*, John Wiley & Sons, 2009.
- [33] M. S. Rasmussen, T. Justesen, A. Dohn, and J. Larsen, *The home care crew scheduling problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies*, European Journal of Operational Research **219** (2012), no. 3, 598–610.
- [34] C. R. Reeves, *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*, McGraw-Hill Book Company, London, 1995.
- [35] K. D. Rest and P. Hirsch, *Supporting urban home health care in daily business and times of disasters*, IFAC-PapersOnLine **48** (2015), no. 3, 686–691.
- [36] E. Sahin and A. Matta, *A contribution to operations management-related issues and models for home care structures*, International Journal of Logistics Research and Applications **18** (2015), no. 4, 355–385.
- [37] J. P. Teixeira, *Processamento de sinal*, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2014.

- [38] X. Wang, W. Wan, X. Zhang, and X. Yu, *Annealed particle filter based on particle swarm optimization for articulated three-dimensional human motion tracking*, *Optical Engineering* **49** (2010), no. 1, 17204–17204.
- [39] S. J. Wright and J. Nocedal, *Numerical optimization*, Springer Science **35** (1999).
- [40] X. Zhou, H. Wang, J. Wang, Y. Wang, G. Hoehn, J. Azok, M. L. Brennan, S. L. Hazen, K. Li, S. F. Chang, et al., *Identification of biomarkers for risk stratification of cardiovascular events using genetic algorithm with recursive local floating search*, *Proteomics* **9** (2009), no. 8, 2286–2294.