

Escalonamentos de tratamentos em unidades de saúde

Ana Luísa Sampaio Leite

Trabalho de Projeto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança
para obtenção do grau de Mestre em
Tecnologia Biomédica

Este trabalho de projeto foi efetuado sob orientação de:

Prof. Dra. Ana Isabel Pereira

Este trabalho de projeto inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri

outubro 2016

Agradecimentos

Não foi apenas todo o trabalho científico que permitiu que se fechasse este ciclo. Para que tal acontecesse, foram muitas as pessoas que, ao longo de todo o meu percurso académico, me ajudaram a cumprir os objetivos e a realizar mais uma etapa.

À orientadora e amiga Professora Doutora Ana Isabel Pereira por todo o apoio durante este ano, pelas horas de trabalho investidas neste trabalho, pelos ensinamentos, pelo conhecimento e pelas experiências que me proporcionou, por me mostrar que o caminho pode ser duro mas que pode ser bastante reconfortante, pela liberdade de trabalho que me deu que me permitiu crescer pessoalmente e pelas palavras certas nos momentos mais difíceis.

Ao Professor Doutor Carlos Rufino pela disponibilidade e pelo tempo que dispensou em resolver um dos problemas que surgiram no caminho.

Aos meus pais, os meus maiores modelos e os meus maiores pilares, por todo o sacrifício que fazem para que eu percorra os meus sonhos, pelo exemplo, pela amizade, pelo carinho, pelas palavras certas, pela confiança e pela total compreensão nos piores momentos. Que a partir de agora lhes possa retribuir em dobro tudo o que me possibilitaram.

Ao Helder, talvez aquele que mais sentiu as dificuldades que passei, por toda a paciência durante este ano, pela compreensão, pelo amor, pela amizade, pelo apoio, pelos conselhos e críticas, pelas alegrias e momentos menos maus e pela transmissão de força e de coragem.

À Marta, pela amizade de sempre, pela compreensão e paciência que sempre teve durante a elaboração deste trabalho, por sempre acreditar em mim, pelos conselhos, pela partilha dos bons e maus momentos, pelos desabafos e pelas palavras amigas.

À Carla e à Paula, amigas e companheiras de casa, pela compreensão e por todos os momentos que passamos durante o nosso caminho, que foi longo e muitas vezes duro, por sabermos sempre agarrar no melhor de cada uma e conseguirmos formar uma equipa fantástica.

Aos meus amigos, por perceberem as minhas renúncias aos compromissos, pela amizade, pela força e por acreditarem em mim desde o início.

Ao IPB, nomeadamente à ESTiG, por me deixar utilizar as instalações e por todas as condições que me proporcionou durante todo o meu percurso académico.

A eles, dedico todo o meu trabalho.

Resumo

O problema de escalonamento de tratamentos em unidades de saúde é um tema atual na investigação operacional e bastante importante na área da gestão de hospitalar, estando associado à redução de custos com o pessoal especializado bem como a redução de tempo de espera dos utentes.

Atualmente, os algoritmos evolutivos têm sido uma importante ferramenta para a resolução de problemas de escalonamento nas mais diversas áreas. Alguns dos métodos mais usados na área de escalonamento são o Algoritmo Genético e o método *Particle Swarm Optimization*. O Algoritmo Genético é conhecido por simular comportamentos biológicos, e é baseado no conceito da seleção e evolução natural e genética, usando a informação histórica para encontrar a solução ótima do problema. O método *Particle Swarm Optimization* é um método baseado no comportamento social de animais que não têm um líder.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver dois algoritmos baseados nos métodos *Particle Swarm Optimization* e Algoritmo Genético para a resolução de problemas de escalonamento de tratamentos em unidades de saúde

Com este estudo, podemos concluir que tanto os métodos *Particle Swarm Optimization* e o Algoritmo Genético apresentam soluções para todos os casos de estudo analisados, e ambos fornecem a mesma solução ótima para cada problema estudado com elevada rapidez de processamento.

Palavras-chave: otimização, Algoritmo Genético, *Particle Swarm Optimization*, escalonamento.

Abstract

The treatment scheduling in Health Centers problem is a current topic in operational research and it is very important in the hospital management field, it's associated to reduced costs with specialized staff as well as the waiting time reduction of users.

Currently, evolutionary algorithms have been an important tool for solving scheduling problems in several areas. Some of the methods most commonly used in the scheduling area are the Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization. The Genetic Algorithm is known by simulate biological behaviour, and is based on the concept of natural selection and genetic evolution, using historical information to find the optimal solution of the problem. The Particle Swarm Optimization method is a procedure based on the social behaviour of animals that do not have a leader.

This work aims to develop two algorithms based on methods Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm for solving treatment scheduling problems in Health Centers.

With this study, we can conclude that Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm methods have solutions for all the studied cases, and both provide the same optimal solution for each problem studied with high processing speed.

Keywords: optimization; Genetic Algorithm; Particle Swarm Optimization; scheduling

Índice Geral

Índice Geral	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
Capítulo 1	1
1. Introdução	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura do trabalho	3
Capítulo 2	5
1. Otimização	5
1.1. Otimização Discreta e Contínua	6
1.2. Otimização com Restrições e Otimização sem Restrições	6
1.3. Otimização Global e Otimização Local	7
2. Métodos de Otimização	7
2.1. Método do Algoritmo Genético	8
2.2. Método Particle Swarm Optimization (PSO)	11
3. Escalonamento	14
4. MATLAB	15
Capítulo 3	17
1. Escalonamento de consultórios	17
1.1. Modelação Matemática do Problema	17
1.2. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2	18
1.3. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3	19
1.4. Caso de Estudo 3: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2	20
1.5. Caso de Estudo 4: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3	21

1.6. Caso de Estudo 5: Pacientes 31; Exames 24; Consultórios 4	21
1.7. Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal	22
Capítulo 4	25
1. Resultados.....	25
1.1. Resultados do Escalonamento Manual	25
1.1.1. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2	25
1.1.2. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3	28
1.2. Resultados com Algoritmo Genético	33
1.2.1. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2	33
1.2.2. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3	34
1.2.3. Caso de Estudo 3: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2	36
1.2.4. Caso de Estudo 4: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3	38
1.2.5. Caso de Estudo 5: Pacientes 31; Exames 24; Consultórios 4	40
1.2.6. Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal.....	41
1.3. Resultados com o Algoritmo Genético do pacote computacional do MATLAB	48
1.3.1. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2	49
1.3.2. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3	50
1.3.3. Caso de Estudo 3: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2	50
1.3.4. Caso de Estudo 4: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3	52
1.3.5. Caso de Estudo 5: Pacientes 31; Exames 24; Consultórios 4	52
1.3.6. Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal.....	53
1.4. Resultados com PSO.....	53
1.4.1. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2	53
1.4.2. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3	54
1.4.3. Caso de Estudo 3: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2	56
1.4.4. Caso de Estudo 4: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3	58
1.4.5. Caso de Estudo 5: Pacientes 31; Exames 24; Consultórios 4	60

1.4.6. Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal.....	61
Capítulo 5	69
1. Discussão de Resultados.....	69
1.1. Resultados do Caso de Estudo 1	69
1.2. Resultados do Caso de Estudo 2	70
1.3. Resultados do Caso de Estudo 3	72
1.4. Resultados do Caso de Estudo 4	73
1.5. Resultados do Caso de Estudo 5	75
1.6. Resultados do Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal.....	77
Capítulo 6	87
1. Conclusões e trabalho futuro	87
Capítulo 7	89
1. Referências Bibliográficas.....	89
Anexos	93
Anexo A.....	95

Índice de Figuras

Figura 1: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho).....	26
Figura 2: Primeira distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo) ..	26
Figura 3: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho).....	27
Figura 4: Segunda distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo) ..	28
Figura 5: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 2 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)	29
Figura 6: Primeira distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 2 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege)	30
Figura 7: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 2 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)	31
Figura 8: Segunda distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 2 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege)	32
Figura 9: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho).....	33
Figura 10: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo).....	34
Figura 11: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 2 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)	35
Figura 12: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 2 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege).....	36
Figura 13: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 3 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho).....	37

Figura 14: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 3 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo)	37
Figura 15: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 4 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)	38
Figura 16: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 4 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege).....	39
Figura 17: Tempo de resolução dos tratamentos para os trinta e um pacientes do caso de estudo 5.....	40
Figura 18: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 5	41
Figura 19: Tempo de resolução dos tratamentos para os trinta e um pacientes do primeiro dia do caso de estudo 6.....	41
Figura 20: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no primeiro dia do caso de estudo 6	42
Figura 21: Tempo de resolução dos tratamentos para os 24 pacientes do segundo dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame – Amarelo).....	42
Figura 22: Distribuição dos 24 pacientes pelos consultórios no segundo dia do caso de estudo 6.....	43
Figura 23: Tempo de resolução dos tratamentos para os 20 pacientes do terceiro dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Amarelo).....	44
Figura 24: Distribuição dos 20 pacientes pelos consultórios no terceiro dia do caso de estudo 6	45
Figura 25: Tempo de resolução dos tratamentos para os 21 pacientes do quarto dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame – Amarelo).....	45
Figura 26: Distribuição dos 21 pacientes pelos consultórios no quarto dia do caso de estudo 6	46
Figura 27: Tempo de resolução dos tratamentos para os 22 pacientes do quinto dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Amarelo).....	47
Figura 28: Distribuição dos 22 pacientes pelos consultórios no quinto dia do caso de estudo 6	48
Figura 29: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho)	49
Figura 30: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo)	50

Figura 31: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 3 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho).....	51
Figura 32: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 3 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo).....	52
Figura 33: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)	53
Figura 34: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo).....	54
Figura 35: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 2 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)	54
Figura 36: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 2 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege).....	55
Figura 37: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 3 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho).....	56
Figura 38: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 3 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo)	57
Figura 39: Figura 11 Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 4 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho).....	58
Figura 40: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 4 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege).....	59
Figura 41: Tempo de resolução dos tratamentos para os trinta e um pacientes do caso de estudo 5.....	60
Figura 42: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 5	61
Figura 43: Tempo de resolução dos tratamentos para os trinta e um pacientes do primeiro dia do caso de estudo 6.....	61
Figura 44: Distribuição dos 31 pacientes pelos consultórios no primeiro dia do caso de estudo 6.....	62
Figura 45: Tempo de resolução dos tratamentos para os 24 pacientes do segundo dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame – Amarelo).....	62
Figura 46: Distribuição dos 24 pacientes pelos consultórios no segundo dia do caso de estudo 6.....	63

Figura 47: Tempo de resolução dos tratamentos para os 20 pacientes do terceiro dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Amarelo).....	64
Figura 48: Distribuição dos 20 pacientes pelos consultórios no terceiro dia do caso de estudo 6.....	65
Figura 49: Tempo de resolução dos tratamentos para os 21 pacientes do quarto dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame – Amarelo).....	65
Figura 50: Distribuição dos 21 pacientes pelos consultórios no quarto dia do caso de estudo 6.....	66
Figura 51: Tempo de resolução dos tratamentos para os 22 pacientes do quinto dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Amarelo).....	67
Figura 52: Distribuição dos 22 pacientes pelos consultórios no quinto dia do caso de estudo 6.....	68

Índice de Tabelas

Tabela 1: Exames que cada paciente tem a fazer no caso de estudo 1	19
Tabela 2: Duração de cada exame nos consultórios disponíveis no caso de estudo 1 (minutos).....	19
Tabela 3: Exames que cada paciente tem a fazer no caso de estudo 2	20
Tabela 4: Duração de cada exame nos consultórios disponíveis no caso de estudo 2 (minutos).....	20
Tabela 5: Duração de cada exame nos consultórios disponíveis no caso de estudo 3 (minutos).....	21
Tabela 6: Duração de cada exame nos consultórios disponíveis no caso de estudo 4 (minutos).....	21
Tabela 7: Informação sobre em que gabinetes pode ser feito cada tratamento disponível	22
Tabela 8: Informação sobre em que gabinetes pode ser feito cada tratamento disponível	23
Tabela 9: Comparação dos resultados do caso de estudo 1 com quatro pacientes no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames (minutos).....	69
Tabela 10: Comparação dos resultados do caso de estudo 1 com quatro pacientes no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)	70
Tabela 11: Comparação dos resultados do caso de estudo 2 com oito pacientes no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames (minutos).....	71
Tabela 12: Comparação dos resultados do caso de estudo 2 com oito pacientes no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)	72
Tabela 13: Tempo que cada paciente demora a realizar cada exame no caso de estudo 3 com os diferentes algoritmos (minutos)	72
Tabela 14: Tempo que cada consultório demora a ficar livre no caso de estudo 3 (minutos)	73
Tabela 15: Tempo que cada paciente demora a realizar os seus exames no caso de estudo 4 (minutos).....	74
Tabela 16: Tempo que cada consultório demora a ficar livre no caso de estudo 4 (minutos)	75
Tabela 17: Comparação dos resultados do caso de estudo 5 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos trinta e um pacientes (minutos)	75
Tabela 18: Comparação dos resultados do caso de estudo 5 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)	77

Tabela 19: Comparação dos resultados do segundo dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos 24 pacientes (minutos)	78
Tabela 20: Comparação dos resultados do segundo dia caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)	79
Tabela 21: Comparação dos resultados do terceiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos 20 pacientes (minutos)	80
Tabela 22: Comparação dos resultados do terceiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)	81
Tabela 23: Comparação dos resultados do quarto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos 21 pacientes (minutos).....	82
Tabela 24: Comparação dos resultados do quarto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos).....	83
Tabela 25: Comparação dos resultados do quinto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos 22 pacientes (minutos).....	84
Tabela 26: Comparação dos resultados do quinto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos).....	85

Capítulo 1

1. Introdução

A otimização é sem dúvida uma teoria bastante importante no quotidiano: as companhias aéreas organizam as suas tripulações de forma a minimizar custos, os investidores tentam minimizar os riscos e maximizar o aproveitamento, já os fabricantes têm como objetivo maximizar a eficiência e a operação na produção [1]. Muitas vezes, a otimização ajuda a economizar dinheiro numa empresa pelo simples facto de reduzir o tempo de desenvolvimento de um produto ou serviço.

O grande avanço da tecnologia, bem como a capacidade dos computadores em resolver problemas com exatidão e rapidez, também foi um motivo para que a otimização fosse cada vez mais utilizada na resolução de problemas.

Sendo cada vez mais importante reduzir custos e tempo de produção, é também importante solucionar os problemas com métodos rigorosos, métodos de otimização, de modo a obter a solução de forma rápida, precisa e robusta [2].

Tal como todas as ações do quotidiano faladas anteriormente, também a escolha da melhor forma de organizar exames, tratamentos e consultas pode ser visto como um problema de otimização já que, quando se trata da resolução deste problema, é procurada a melhor solução num espaço com muitas outras soluções.

Assim, a otimização pode ser definida como o ato de obter os melhores resultados dadas certas circunstâncias, minimizando o esforço e maximizando o benefício [2].

A dificuldade em determinar um conjunto de soluções aumenta com o número de funções e o número de variáveis. Assim, é necessário desenvolver técnicas matemáticas e computacionais que aperfeiçoem os processos de otimização [3].

Para resolver problemas de otimização é necessário haver uma compreensão quer das teorias quer dos métodos. Para tal, podem ser utilizados métodos adaptativos, como é o caso do método conhecido como Algoritmo Genético (AG), que tem como base uma analogia com a teoria da evolução de Darwin: apenas os mais aptos sobrevivem [4].

O estudo da aplicação do AG em problemas no mundo da engenharia tem captado bastante a curiosidade de muitos investigadores [5]. Este algoritmo, que tem vindo a ser visto como uma boa abordagem para os problemas de escalonamento por ser eficaz e eficiente, pretende

Capítulo 1

encontrar uma aplicação mais generalizada em vários ramos, como por exemplo, nos negócios, nas áreas científicas e na engenharia, uma vez que o algoritmo genético é computacionalmente simples mas bastante poderoso [6].

O método de otimização *Particle Swarm Optimization* (PSO) foi introduzido no ano de 1995. A partir daí, os investigadores têm aprendido cada vez mais sobre a técnica, desenvolvendo novas aplicações e publicando cada vez mais estudos sobre o algoritmo [7]. O PSO é conhecido por resolver de forma eficaz problemas de otimização não linear. Este método não só tem as suas raízes na vida artificial e na psicologia social das espécies como também é criado a partir da inteligência computacional e da engenharia, não sendo afetado pelo tamanho nem pela não linearidade do problema e consegue convergir para a solução ideal na maioria dos problemas, principalmente naqueles em que os métodos analíticos não conseguem convergir [8].

O PSO imita o comportamento dos grupos de animais que não têm um líder. Esses grupos encontram um objetivo seguindo o membro que se encontra em melhor posição na procura desse objetivo e encontram a sua melhor posição através da comunicação entre os membros que já se encontram numa situação melhor [9].

Os problemas de escalonamento existem em muitos problemas do mundo real e estão de mãos dadas com a otimização. É importante, em primeiro lugar, estudar o quão complexo é o problema de modo a iniciar estudos para quantificar a qualidade de soluções para que seja possível projetar um modelo de otimização matemática.

De um modo geral, os problemas de escalonamento pretendem organizar a disponibilidade de recursos limitados para que as tarefas sejam realizadas ao longo do tempo, satisfazendo vários critérios [5]. O escalonamento permite, assim, obter uma maior rentabilidade e eficiência nas empresas, quando são aplicados algoritmos eficientes para obter os objetivos de forma mais eficaz e rápida.

1.2. Objetivos

É importante, num ambiente clínico, distribuir os pacientes para que o tempo de espera seja menor e para que haja um menor número de pacientes atendidos de modo a rentabilizar o tempo e o ganho da clínica.

Como tal, neste trabalho, o principal objetivo é desenvolver dois algoritmos, baseados no AG e no PSO, de modo a que se possível resolver problemas de escalonamento de exames numa clínica.

1.3. Estrutura do trabalho

Para melhor compreensão deste trabalho, este encontra-se dividido em sete capítulos.

O **Capítulo 1** apresenta uma breve introdução dos temas abordados durante o projeto.

O **Capítulo 2** é constituído por uma revisão de literatura sobre otimização no geral, bem como os métodos utilizados neste trabalho, fazendo ainda uma abordagem ao *software* utilizado e também uma breve explicação dos algoritmos utilizados.

No **Capítulo 3** é inicialmente feita a modelação matemática do problema e são apresentados os casos de estudo que foram aplicados.

Já o **Capítulo 4** apresenta os resultados da aplicação dos algoritmos utilizados aos vários casos de estudo.

No **Capítulo 5** é feita uma discussão de resultados, comparando os resultados dos vários casos de estudo.

No **Capítulo 6** é feita a conclusão do estudo em questão.

No **Capítulo 7** podem ser consultadas as Referências Bibliográficas utilizadas na elaboração deste trabalho.

Capítulo 2

1. Otimização

Apesar dos avanços da otimização serem relativamente recentes, a otimização pode ser encontrada já nos tempos de Newton, Lagrange, Cauchy e outros. A utilização de um método que exigia derivadas das funções foi apresentada por Cauchy pela primeira vez em 1847 [10]. No entanto, só no final da década de 30 do século XX é que aconteceu o primeiro grande desenvolvimento desta área. Graças à situação que era vivida por causa da guerra, foi necessário desempenhar as tarefas de um modo melhor e mais rápido. O cientista George Dantzig destacou-se com o método simples que desenvolveu para resolver problemas de transporte e distribuição. Os maiores desenvolvimentos dos métodos matemáticos foram realizados no Reino Unido, apenas em 1960. Os computadores permitiram a resolução de grandes problemas fazendo com que o grande desenvolvimento de novos métodos matemáticos acontecesse ao par dos desenvolvimentos da tecnologia. Atualmente, os métodos mais modernos, também conhecidos por métodos de otimização não tradicionais, são métodos mais poderosos para resolver os problemas mais complexos da engenharia atual [2].

A otimização pode ser aplicada para resolver os mais variados problemas, como por exemplo, encontrar as melhores trajetórias de veículos espaciais, projetos de engenharia civil, projetos de sistemas de recursos hídricos, projetos de maquinaria e redes elétricas, planeamento de viagens, controlar o tempo de espera em linhas de produção para minimizar os gastos, entre outros [2].

Na natureza matemática, a otimização é a minimização ou maximização de uma função que pode ou não estar sujeita a restrições nas suas variações, ou seja, é obter o melhor resultado sob determinadas circunstâncias [2]. Num problema de otimização, x é o vetor das variáveis, f é a função objetivo e c é o vetor das restrições que têm de ser satisfeitas [1]. Este problema pode ser escrito da seguinte forma

$$\min f(x) \quad \text{sujeito a} \quad \begin{cases} c_i(x) = 0, & i \in \mathcal{E}, \\ c_i(x) \geq 0, & i \in \mathcal{J} \end{cases} \quad (1)$$

Assim, é importante que algumas definições estejam bem esclarecidas. A função objetivo é a função que se pretende otimizar, isto é, a função que se pretende maximizar ou minimizar. As restrições, que apresentam situações impossíveis à resolução do problema, são funções que podem ser de igualdade ou de desigualdade. A dita região viável pode ser uma região, um

espaço ou um conjunto. Nesta região podem ser encontradas as soluções possíveis do problema em questão.

Há várias classes específicas para os problemas de otimização que são definidas 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 (1), o que conduz a problemas de programação linear. No entanto, há outro tipo de problema que pode ser considerado, aquele que deriva de uma natureza combinatória, ou seja, a solução é um conjunto de inteiros e outros objetos discretos. Estes problemas são conhecidos como problemas de otimização combinatória, como por exemplo, problemas de atribuição de tarefas, problemas com a atribuição de rotas para veículos, problemas de escalonamento em geral, entre outros [11].

1.1. Otimização Discreta e Contínua

Os problemas de otimização discreta surgem quando a solução que é procurada está uma série de objetos num conjunto finito, isto é, está confinada a um conjunto de pontos. Os problemas que apenas trabalham com números inteiros também podem ser considerados discretos já que o conjunto dos números inteiros é considerado como um conjunto finito [12].

Contrariamente a este tipo de problemas, os problemas que caracterizam a otimização contínua são aqueles que procuram uma solução que se encontra numa série de objetos num conjunto infinito [1]. Assim, nestes problemas, as variáveis podem ser do tipo real.

1.2. Otimização com Restrições e Otimização sem Restrições

A distinção mais importante nos problemas de otimização é, muito possivelmente, entre os problemas que têm restrições e os que não têm restrições.

Os problemas de otimização sem restrições têm bastantes aplicações práticas. Isto acontece dado que muitas das vezes as condições sobre as variáveis são ignoradas e é seguro assumir que eles não têm qualquer efeito sobre a solução. Assim, pode haver problemas de otimização sem restrições que eram inicialmente problemas de otimização com restrições. Nestes, as restrições são consideradas penalizações da função objetivo [1]. Este tipo de otimização pretende minimizar uma função objetivo que apenas depende de variáveis reais, não havendo nenhuma restrição no problema.

Como o próprio nome indica, os problemas de otimização com restrições são aqueles que têm restrições nas suas variáveis. Estes podem ser limites simples ou inequações não lineares, que representam uma relação complexa entre as variáveis [1].

1.3. Otimização Global e Otimização Local

Por vezes, os algoritmos de otimização não encontram a melhor solução, isto é, podem ser rápidos a encontrar apenas uma solução onde a função objetivo é menor do que nos restantes pontos da sua vizinhança [1]. O objetivo da otimização global é encontrar o melhor elemento x^* de um conjunto X de acordo com um conjunto de critérios $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$. Esses critérios são expressos pelas funções objetivo. Na otimização local, procura-se um mínimo local x^* tal que $F(x^*) \leq F(x)$ para todo o x próximo a x^* . No caso da otimização global, o problema é encontrar um x^* que minimiza $F(x)$ para todos os valores possíveis de x [13].

Nem sempre é fácil encontrar o mínimo global de uma função dado que os algoritmos tendem por procurar os mínimos locais [1].

2. Métodos de Otimização

Não há um único método para resolver todos os problemas de otimização de forma eficiente, é necessário avaliar o problema e escolher qual o método mais apropriado. Para tal, foram desenvolvidos um grande número de métodos que podem ser utilizados nos mais variados problemas.

Os melhores métodos para resolver problemas de otimização devem possuir certas características, sendo a eficiência, exatidão e robustez as mais importantes. Nem sempre é possível reunir as três características num só método pois, por exemplo, um método robusto pode demorar algum tempo a ser executado, o que leva a uma menor eficiência [1].

É muito importante escolher o método mais adequado para a resolução do problema de otimização, saber escolher aquele que apresentará mais soluções ou que provavelmente apresentará uma solução mais próxima do pretendido. Os vários métodos que existem para a resolução de técnicas de otimização podem ser divididos em várias categorias, no entanto, há dois grupos mais influentes: os métodos determinísticos e os métodos estocásticos. Os métodos determinísticos necessitam de informações relacionadas com as derivadas já que se baseiam no seu cálculo ou nas suas aproximações. Estes métodos são também assim conhecidos pois é

possível prever todos os passos da sua resolução, isto é, utilizando estes métodos, a solução será sempre a mesma já que seguem sempre o mesmo caminho para atingir o resultado, se o ponto inicial for sempre o mesmo [13].

Os métodos estocásticos são conhecidos por utilizarem apenas as informações das funções e por possuírem um carácter aleatório [11]. Estes métodos, ao contrário dos métodos determinísticos, nunca apresentam a mesma solução final. Isto acontece pois as escolhas são feitas com base em números aleatórios no momento de execução de cada iteração pois há sempre uma etapa em que há uma geração aleatória de valores. Assim, mesmo que a solução possa convergir para o mesmo ponto, a forma como o algoritmo atinge esse ponto nunca é a mesma [13].

Ainda dentro destes métodos estocásticos podemos encontrar o grupo dos métodos de otimização natural, ou seja, aqueles que fazem analogia a fenómenos que acontecem na natureza. Nestes métodos podemos encontrar os Algoritmos Genéticos, *Simulated Annealing*, *Particle Swarm Optimization* entre outros. Estes métodos são também intitulados de “Métodos Modernos de Otimização”. [3]

2.1. Método do Algoritmo Genético

Os algoritmos genéticos, que podem ser utilizados para a resolução de problemas de otimização, foram originalmente propostos por John Holland, no ano de 1975, mas vários autores, nos anos seguintes, decidiram investigar e escrever sobre estes algoritmos [2]. Os conceitos desta técnica estão mais ligados aos conceitos biológicos do que propriamente as técnicas computacionais tradicionais [14].

O nome Algoritmo Genético (AG) deriva da analogia entre a representação de uma estrutura complexa através de um vetor e a estrutura genética de um cromossoma. Na reprodução seletiva de animais ou plantas, é procurada uma descendência que tenha as características desejadas, características essas que são determinadas pela forma como os cromossomas dos progenitores combinam. Da mesma forma, na procura de soluções para um problema, também são combinadas as melhores características [11].

Os algoritmos genéticos são modelos computacionais inspirados pela evolução, muitas vezes vistos como optimizadores, que codificam uma solução para um problema específico e aplicam operadores de maneira a que a informação mais importante seja preservada. Como são métodos que não usam qualquer informação proveniente da derivada da função, conseguem

encontrar mínimos globais e não locais. Na verdade, os algoritmos genéticos podem ser abordados em dois sentidos. Numa abordagem rigorosa, estes algoritmos referem-se ao modelo introduzido por John Holland e os seus alunos. Numa abordagem mais ampla, um algoritmo genético é qualquer modelo baseado numa população que utiliza operadores de seleção e recombinação para gerar novos pontos de amostra. São muitos os modelos de algoritmos genéticos utilizados por investigadores que são utilizados como ferramenta de otimização [15].

Estes algoritmos, sendo robustos e facilmente adaptáveis, são uma técnica bastante estudada e utilizada nas mais diversas áreas para resolver uma vasta série de problemas, em especial no campo da otimização. Os algoritmos genéticos podem ser descritos como métodos adaptativos que são utilizados em problemas de otimização, sendo que estes métodos utilizam conceitos referentes ao princípio da seleção natural de Darwin. Citando Goldberg, os AG são algoritmos de pesquisa baseados nos mecanismos de seleção e genética natural. Combinam a sobrevivência dos mais aptos com uma estrutura de informação já aleatória, combinada para construir um algoritmo de pesquisa com algumas capacidades de inovação da pesquisa humana [6].

Para que a solução seja encontrada, o problema começa com um conjunto inicial de indivíduos, frequentemente chamado de população, gerado de maneira aleatória, que poderão ser possíveis soluções. Na natureza, os genes dos indivíduos mais aptos propagam-se de forma crescente. O mesmo acontece com o AG, quanto mais apto um “indivíduo” é para o problema, há uma maior probabilidade de este ser escolhido para reprodução. Quanto maior for o tamanho da população, que é gerada de forma aleatória, há mais garantias da diversidade das soluções [16].

Após ser criada aleatoriamente uma população inicial de indivíduos, estes são modificados por operadores genéticos baseados nos seguintes conceitos: seleção, reprodução ou cruzamento e mutação [3]. Em alguns casos, a operação de cruzamento mostrou ser eficaz e a adição de operações como a mutação ajudam a preservar um nível razoável da diversidade da população, o que faz com que a nova população mantenha características importantes das gerações anteriores.

- **Seleção:** determina quais são os indivíduos mais aptos e determina o número de vezes que um indivíduo é escolhido para se reproduzir como também o número de descendentes que o indivíduo em questão irá produzir [17].
- **Reprodução ou Cruzamento:** para que haja produção de novos cromossomas no AG, este passo é o mais importante e essencial. Como podemos observar na

natureza, o cruzamento produz novos indivíduos que têm partes do material genético de ambos os progenitores [17]. Cada par de indivíduos é dividido num ponto aleatório e assim é criado um novo cromossoma com a metade inicial de um cromossoma e a metade final de outro.

- **Mutação:** no que diz respeito ao que se passa na natureza, a mutação é um processo em que um alelo de um gene é substituído por outro para que seja criada uma nova estrutura genética, acontecendo todo o processo de forma aleatória. No caso do AG, este processo é aplicado com baixa probabilidade para modificar elementos dos cromossomas. A mutação tem assim o objetivo de garantir que a probabilidade de encontrar uma sequência nunca será zero e recuperar material genético importante que se poderá perder durante a seleção e o cruzamento [17].

No entanto, apesar destes três operadores mostrarem ser bastante eficazes na maior parte dos problemas, há alguns casos em que a utilização de operadores mais avançados mostra ser bastante útil [11]. Quando estas operações terminam, é criada uma nova população (P'), que é esperada que esteja próxima da solução do problema de otimização [18].

O Algoritmo 1 faz uma breve demonstração do procedimento do AG, de maneira a que seja possível uma melhor compreensão do seu funcionamento.

Algoritmo 1: Algoritmo Genético

Passo 1: Gerar população inicial (P)

Passo 2: Avaliar a aptidão de P

Passo 3: Selecionar os reprodutores

Passo 4: Cruzar os indivíduos selecionados

Passo 5: Fazer mutação da nova população (P')

Passo 6: Avaliar a aptidão de P'

Passo 7: Escolher os melhores indivíduos de $P \cup P'$

Passo 8: Se o critério de paragem for satisfeito, parar as iterações. Caso não seja satisfeito, voltar ao passo 2

O valor de aptidão de cada indivíduo da população pode ser considerado um dos componentes mais importantes no desenvolvimento do Algoritmo Genético. Este valor mostra

se um indivíduo está muito ou pouco próximo da solução desejada e, estando próximo da solução, se essa é boa ou má.

O tamanho da população é uma das maiores questões que se levantam no que diz respeito á performance do AG. Inicialmente, pensava-se que as populações mais pequenas corriam o risco de cobrir o espaço da solução enquanto as populações maiores podem levar a graves erros computacionais. No entanto, estudos empíricos feitos por alguns investigadores, sugerem que um tamanho da população tão pequeno como 30 é adequado em muitos casos, enquanto que outros investigadores sugerem que um valor entre n e $2n$ é ótimo para a problemática do tamanho da população [11].

Há imensas vantagens na utilização dos AG. Estes algoritmos operam de forma simultânea com várias soluções como também conseguem manipular vários parâmetros simultaneamente, são menos afetados pelos mínimos locais e usam operadores estocásticos em vez de utilizarem operadores determinísticos [16].

O AG encontra soluções a um nível aceitável num menor espaço de tempo isto porque os AG não é o melhor método para resolver todos os problemas. Por vezes, os métodos tradicionais bastam para resolver problemas mais simples ou com determinadas características [19]. Mesmo sendo os AG bastante eficientes na resolução de problema de otimização, estes podem por vezes ser exagerados, isto é, há problemas em que os métodos tradicionais de otimização utilizam menos tempo e esforço para encontrar uma solução ótima [18].

Neste trabalho serão testadas duas implementações deste método, uma que foi desenvolvida durante o trabalho e outra que foi desenvolvida pelo MATLAB.

2.2. Método Particle Swarm Optimization (PSO)

O PSO é uma técnica de otimização baseada no estudo do comportamento de populações, sendo inicializada com uma população de soluções aleatórias que seja adequada ao problema. O conceito do PSO surgiu da observação de experiências que traçam o comportamento observado em bandos de pássaros ou cardumes de peixes ou ainda no comportamento social humano. Quer no caso das partículas (potenciais soluções) do PSO como no caso dos indivíduos num grupo de animais, estes são encaminhados para a melhor posição a cada iteração, o que leva a uma rápida convergência dos resultados [20].

Capítulo 2

A ideia inicial do PSO era produzir inteligência computacional mas, em vez de explorar habilidades cognitivas individuais, o objetivo era explorar princípios de interação social. Esta ideia partiu de James Kenney e Russel Eberhart, um psicólogo social e um engenheiro elétrico. Segundo estes dois investigadores, o PSO tem as suas raízes na observação do comportamento dos bandos de pássaros, nos cardumes de peixe quando nadam coordenados na mesma direção e no ramo da inteligência artificial que estuda o comportamento dos enxames. Este algoritmo está também relacionado com a computação evolutiva e tem ligações com o AG, já falado anteriormente [21].

Cientistas como Reynolds, Heppner e Grenander criaram simulações computacionais para interpretar o comportamento dos organismos em bandos. O que mais questionava Reynolds era a estética formada pelos bandos dos pássaros quando voam em conjunto [22], já Heppner e Grenander estavam mais interessados em descobrir quais as regras utilizadas por esses bandos para se reunirem de uma maneira tão estética, mesmo mudando muitas vezes de direção e mesmo assim reagruparem-se de igual forma. Ambas as questões dependiam da manipulação das distâncias inter-individuais, isto é, a sincronização do comportamento dos pássaros foi pensada como uma função do esforço destes para manter uma distância ideal entre eles [23].

No caso dos cardumes, como foi explicado pelo sociobiológico E. O. Wilson, cada indivíduo pode beneficiar das descobertas e experiências que cada um dos outros membros do cardume fizeram durante a busca de alimentos. Esta aprendizagem pode-se tornar decisiva, o que mostra que a partilha da informação entre as espécies oferece uma vantagem evolutiva [24]. Essa partilha de informação depende de três princípios culturais: a avaliação, a comparação e a imitação. Com base nestes princípios, os indivíduos conseguem lidar com as mais variáveis situações apresentadas pelo ambiente já que conseguem estimar o seu comportamento, comparando-o com os dos restantes indivíduos, imitando o comportando destes para que seja possível adquirir e manter as suas habilidades mentais [25].

O Algoritmo 2 apresenta uma breve descrição do funcionamento do PSO. Este inicia-se com uma dada população de partículas, atualizando o vetor posição a partir do vetor velocidade de cada partícula.

Algoritmo 2: Particle Swarm Optimization

Passo 1: Gerar população inicial (P)

Passo 2: Atribuir velocidade inicial

Passo 3: Definir a melhor posição para cada partícula e para P ($pbest/gbest$ respetivamente)

Passo 4: Avaliar a aptidão de P

Passo 5: Atualizar posições e velocidades

Passo 6: Definir novas posições para as partículas e para P ($pbest/gbest$ respetivamente)

Passo 7: Se o critério de paragem for satisfeito, parar as iterações. Caso não seja satisfeito, voltar ao passo 4

O PSO utiliza uma população de partículas que se deslocam no espaço do problema com determinadas velocidades. Essas velocidades, em cada iteração, são ajustadas de acordo com a melhor posição de cada partícula e da sua vizinhança [8]. Isto é, a posição de cada partícula, partícula essa denominada por i , é representada por um vetor X_i . A velocidade a que um grupo de partículas se desloca num espaço m -dimensional é representada pelo vetor V_i . A função f_i é calculada usando X_i como entrada. Cada partícula controla a sua melhor posição, posição essa que está associada com a melhor aptidão encontrada até agora no vetor P_b de dimensão m , sendo o vetor que guarda a melhor posição de cada partícula. A melhor posição de todas as partículas é guardada no vetor P_g de dimensão m [20]. A velocidade de uma partícula é dada pela equação (2):

$$V_i(t + 1) = V_i(t) + \varphi_1 \times (P_b - X_i(t)) + \varphi_2 \times (P_g - X_i(t)) \quad (2)$$

onde φ_1 e φ_2 são constantes, sendo, respetivamente, as componentes “cognitivo” e “social”. Após os valores da velocidade e da posição das partículas serem definidos, é calculado o desempenho de cada partícula (*fitness*). Posto isto, são encontradas as melhores posições de cada partícula e de toda a população, isto é, o $pbest$ e o $gbest$, respetivamente, e as velocidades e as posições de cada partícula são atualizadas. Se o critério de paragem for satisfeito chegando a este passo do algoritmo, a solução do problema é encontrada. Caso contrário, é calculado novamente o valor do *fitness* e os valores de $pbest$ e $gbest$ são atualizados se for encontrada uma solução melhor. As iterações prosseguem até que o critério de paragem seja satisfeito.

O PSO utiliza também o conceito conhecido como “*Swarm Intelligence*”, que é uma propriedade de um sistema, pelo que os comportamentos coletivos de cada indivíduo que interage com o meio criem padrões funcionais globais que sejam coerentes [8].

Podem ser considerados três principais conceitos relacionados com o PSO, sendo eles, os conceitos sociais, os conceitos da *Swarm Intelligence* e os conceitos relacionados com as características computacionais. No que diz respeito aos conceitos sociais, é conhecido que à

medida que o ser humano aumenta a sua interação social, aumenta também a sua inteligência e a sua capacidade de sobrevivência. É a comparação e imitação dos outros, bem como aprender com o seu comportamento, que permite aos seres humanos adaptarem-se ao ambiente. No que diz respeito à *Swarm Intelligence*, há vários aspetos a considerar. A população deve ser capaz de executar tempos e espaços simples em termos computacionais, deve ser também capaz de responder a fatores de qualidade do ambiente como também deverá mudar o seu comportamento quando valer a pena o esforço computacional [8].

Assim, pode ser dito que o PSO é inspirado por motivações biológicas e sociológicas e pode resolver casos de otimização em superfícies rugosas, descontínuas e multimodais. Este algoritmo não requer qualquer informação sobre o gradiente da função que irá ser otimizada, ele utiliza apenas operadores matemáticos mais simples, o que faz com que, em termos de conceitos, seja mais simples. Tal como os conceitos e os operadores matemáticos, também este algoritmo pode ser implementado em qualquer linguagem computacional de forma simples. Uma outra grande vantagem da utilização deste algoritmo é que o seu desempenho não fica mais fraco à medida que aumenta a dimensão do problema [26].

Tal como foi anteriormente falado na abordagem ao AG, o PSO também garante mais vantagens, sendo fácil de implementar, já que existem parâmetros que podem ser ajustados e cada partícula memoriza o seu melhor valor, bem como a melhor vizinhança. O PSO também é bom no que diz respeito a manter a diversidade da população [8].

3. Escalonamento

Quer seja na indústria, numa empresa, na engenharia, entre outros ramos, o único objetivo nunca é fazer apenas com que as tarefas sejam feitas da forma mais rápida possível. É necessário que haja rapidez como também fazer com que haja minimização nos custos e nos horários dos trabalhos e maximizar a utilização dos recursos, quer capitais quer humanos [27].

O processo de escalonamento tem vindo a mostrar ser bastante importante uma vez que a aplicação de algoritmos capazes de obter resultados rápidos e possíveis faz com que haja competição entre as empresas para serem as melhores. O escalonamento permite que haja rentabilidade e produtividade nos processos em que é utilizado.

Um problema de escalonamento pode ser definido como a atribuição de um dado conjunto de processos a um conjunto de elementos sujeitos ao processamento, que estão ainda sujeitos a

um processo de otimização [28]. É considerado um processo de otimização já que ordena as atividades de forma a minimizar ou maximizar certos requisitos [27]. Para que esse problema seja de melhor compreensão, são definidas três componentes principais: os consumidores, os recursos e o algoritmo de escalonamento. Os três estão interligados já que os consumidores utilizam os recursos, isto é, dispositivos de armazenamento e comunicação, como os computadores, e o algoritmo de escalonamento atribui os vários processos aos computadores disponíveis, quando os seus pedidos e a disponibilidade de recursos são respeitados [29].

Na maior parte dos casos de escalonamento, as tarefas são complexas, o que faz com que os métodos tradicionais de otimização não sejam capazes de resolver o problema de forma eficaz. Não só as tarefas são complexas como também o tempo de resolução computacional aumenta com o aumento da dimensão do problema [27].

O primeiro modelo a surgir para representar o escalonamento de tarefas foi o modelo chamado de Gráfico de Gantt, gráfico este que faz a representação gráfica da forma como as tarefas e os recursos interagem ao longo do tempo. A seguir ao aparecimento dos Gráficos de Gantt, surgiu o Método do Caminho Crítico e ainda hoje é usado em grandes investigações. Como o escalonamento tem grande importância no controlo de custos, no tempo em que é gasto para a realização das tarefas e, inevitavelmente, na satisfação dos usuários, tem desafiado grandes investigadores [27].

4. MATLAB

O MATLAB, inicialmente desenvolvido nos anos 70, tem vindo a notar diversas melhorias, dado que, aquando do seu nascimento, este era utilizado apenas para resolução de problemas que envolvessem cálculos de álgebra e análise numérica. Este é uma ferramenta informática com uma linguagem de programação própria e um ambiente com excelentes capacidades gráficas e de fácil utilização. Com uma linguagem própria de programação, permite o desenvolvimento de vários programas, dos mais simples aos mais complexos [30].

Comparativamente a outras linguagens computacionais, o MATLAB apresenta várias vantagens, como o fácil uso da sua linguagem, é capacitado de uma plataforma independente, é providenciado de extensas funções predefinidas, possui ferramentas capazes de construir interfaces gráficas, entre outras [31].

Capítulo 2

A maior parte da resolução dos problemas de otimização precisa do uso de computadores. Há muitos *softwares* disponíveis para resolver esses problemas, no entanto, o MATLAB é um dos mais utilizados e populares métodos para a resolução de muitos problemas científicos e de engenharia. Este possui uma grande variedade de pacotes computacionais que podem ser aplicadas a diferentes áreas, nomeadamente á área de otimização [30].

Capítulo 3

1. Escalonamento de consultórios

No presente capítulo serão representados os diferentes casos que foram analisados, bem como a modelação matemática para o problema de escalonamento definido pela problemática de atribuir um dado consultório, onde se realiza um determinado exame ou tratamento, a um dado paciente. No entanto, há certas restrições que são comuns nos diferentes casos: cada consultório efetua apenas um exame/tratamento de cada vez; um dado exame/tratamento pode ser feito nos diferentes consultórios; os exames/tratamentos têm diferentes durações e nem todos os exames/tratamento se efetuam em todos os consultórios.

1.1. Modelação Matemática do Problema

Para este problema foi considerado a ordem de chegada de cada paciente, isto é, a ordem dos exames ou tratamentos segue a ordem de chegada dos pacientes. Assim, considerando uma clinica com vários consultórios onde uma certa quantidade de pacientes realizam os mais variáveis exames ou tratamentos, é necessário descrever todas as constantes envolvidas no problema.

Para a modelação matemática são consideradas as seguintes constantes:

- NP – o número de pacientes;
- NE – o número total de exames diferentes existentes na clínica;
- NC – o número de consultórios.

Assim, existem vários consultórios que iremos definir por C_l para $l=\{1,\dots, NC\}$, os vários exames/tratamentos são definidos por E_i para $i=\{1,\dots,NE\}$ e os vários pacientes são definidos por P_j para $j=\{1,\dots,NP\}$.

É igualmente importante definir as seguintes variáveis:

- $LEP(i,j)$ – discrimina quais os exames/tratamentos i que o paciente j vai realizar;
- $LEC(i,j)$ – discrimina quais os consultórios onde o exame/tratamento i do paciente j pode ser feito;
- $TE(i,j)$ – tempo que o exame i do consultório/tratamento j demora.

Capítulo 3

Se definirmos o número total de exames/tratamentos a realizar pela variável NTE, é possível determinar este valor através da expressão (3):

$$NTE = \sum_{j=1}^{NP} LEP(i,j) \quad (3)$$

Com esta variável independente é possível gerar um conjunto de vetores e matrizes onde essas constantes e variáveis são utilizadas. Os vetores e matrizes são os seguintes:

- *OP* – matriz dos consultórios onde o paciente *j* realiza o exame/tratamento *i*, onde *OP(i,j)* representa o consultório onde o paciente *j* realiza o exame *i*;
- *SCHED* – matriz onde é definido o escalonamento, onde *SCHED(i,j)* é onde se encontra o paciente *i* quando realiza o exame *j*;
- *T* – matriz do tempo final, onde *T(i,j)* é o tempo do exame/tratamento *i* do paciente *j*.

Assim, consideremos a variável independente $x \in S^{NTE}$ onde $S=\{1,\dots,NC\}$. Posto isto, pretende-se minimizar a função $f(x)$ que define o tempo máximo que o último paciente termina o seu último exame/tratamento, isto é, como mostra a equação (4),

$$f(x) = \max(T) \quad (4)$$

Finalmente, o problema de otimização a resolver é definido pela equação (5), que é dada como

$$\min f(x) \quad (5)$$

1.2. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2

Neste primeiro caso de estudo, uma clínica tem dois consultórios e realiza quatro tipos de exames diferentes. Tem em espera quatro pacientes que precisam de realizar diferentes exames entre si, como está explícito na Tabela 1.

Os pacientes 1, 3 e 4 têm que realizar três exames cada um e o Paciente 2 tem a realizar dois exames.

Tabela 1: Exames que cada paciente tem a fazer no caso de estudo 1

	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3	Paciente 4
Exame 1	X		X	X
Exame 2	X	X	X	X
Exame 3	X		X	
Exame 4		X		X

No Consultório 1 os exames podem demorar entre a 10 e 20 minutos e no Consultório 2 todos os exames demoram 10 minutos. A informação referente à duração dos exames em cada consultório está descrita na Tabela 2.

Tabela 2: Duração de cada exame nos consultórios disponíveis no caso de estudo 1 (minutos)

	Consultório 1	Consultório 2
Exame 1	10	-
Exame 2	20	10
Exame 3	-	10
Exame 4	-	10

Este é um problema relativamente simples e em muitas situações de clínicas, e mesmo hospitais, não são apenas estes exames e pacientes em questão. Se a complexidade do problema for aumentada, torna-se também mais complicado de ocupar e gerir o tempo de forma mais rentável.

O objetivo é organizar os pacientes de forma a minimizar o tempo de espera para que os exames sejam efetuados num menor espaço de tempo.

1.3. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3

Neste caso de estudo, uma clínica tem oito pacientes que realizam quatro tipos de exames que podem ser distribuídos por três consultórios. Os pacientes 1, 3, 5, 7 e 8 têm a realizar três

Capítulo 3

exames enquanto que os pacientes 2, 4 e 6 têm apenas dois exames agendados, como está explicito na Tabela 3.

Tabela 3: Exames que cada paciente tem a fazer no caso de estudo 2

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

No Consultório 1 os exames podem demorar entre 10 a 20 minutos, no Consultório 2 os exames demoram 10 minutos cada um e no Consultório 3 os exames podem demorar entre 10 a 20 minutos. A informação referente à duração dos exames em cada consultório está descrita na Tabela 4.

Tabela 4: Duração de cada exame nos consultórios disponíveis no caso de estudo 2 (minutos)

	Consultório 1	Consultório 2	Consultório 3
Exame 1	10	-	20
Exame 2	20	10	10
Exame 3	-	10	
Exame 4	-	-	10

1.4. Caso de Estudo 3: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2

O caso de estudo 3 igualmente quatro pacientes que podem realizar até quatro exames diferentes em dois consultórios. Os dados dos pacientes são iguais aos do caso de estudo 1, e podem ser consultados na Tabela 1.

No caso dos consultórios, a duração dos exames já muda. Quer no Consultório 1 como no Consultório 2 os exames podem demorar entre 10 a 20 minutos, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Duração de cada exame nos consultórios disponíveis no caso de estudo 3 (minutos)

	Consultório 1	Consultório 2
Exame 1	10	-
Exame 2	20	20
Exame 3	-	10
Exame 4	-	10

1.5. Caso de Estudo 4: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3

O caso 4 tem igualmente oito pacientes com o mesmo número de exames a realizar nos três consultórios, como pode ser visto na Tabela 3.

Em relação aos diferentes consultórios, os exames podem durar entre 10 a 20 minutos, como pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6: Duração de cada exame nos consultórios disponíveis no caso de estudo 4 (minutos)

	Consultório 1	Consultório 2	Consultório 3
Exame 1	10	-	10
Exame 2	20	20	20
Exame 3	-	10	-
Exame 4	-	-	10

1.6. Caso de Estudo 5: Pacientes 31; Exames 24; Consultórios 4

O caso de estudo 5 é baseado num caso real de um hospital durante um dia. Neste caso existem 24 tipos de tratamentos diferentes e 31 pacientes para serem distribuídos por quatro gabinetes disponíveis. A Tabela 1 que pode ser observada no Anexo A indica os 24 diferentes

Capítulo 3

tipos de tratamentos disponíveis, bem como a duração, em minutos, de cada um deles. A tabela com os tratamentos que cada paciente deste caso de estudo tem a realizar pode ser consultada no Anexo A, sendo a Tabela 2.

Na Tabela 7 pode ser consultado em quais dos gabinetes podem ser feitos os tratamentos disponíveis.

Tabela 7: Informação sobre em que gabinetes pode ser feito cada tratamento disponível

Gabinetes	Tratamentos
1	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19
2	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19
3	3, 10, 12, 20, 21, 22, 23, 24
4	3, 10, 12, 20, 21, 22, 23, 24

1.7. Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal

O caso de estudo 6 é baseado num caso real de um hospital durante uma semana. Neste caso existem 32 tipos de tratamentos diferentes e um total de 118 pacientes para serem distribuídos por quatro gabinetes disponíveis, de segunda a sexta-feira. No primeiro dia, estão agendados 31 pacientes e cada paciente só tem a realizar um tratamento. No segundo dia de tratamentos, estão agendados 24 pacientes e o máximo de tratamentos que um paciente tem a resolver são três tratamentos. Para o terceiro dia estão agendados 20 pacientes que têm a realizar entre um a dois tratamentos. No quarto dia da semana serão esperados 21 pacientes que têm a realizar, no máximo, três tratamentos. No último dia estão agendados 22 pacientes que realizam entre um a dois tratamentos. Os diferentes tipos de tratamentos disponíveis, bem como a sua duração, para os cinco dias da semana podem ser consultados na Tabela 3 do Anexo A e os tratamentos que cada paciente tem agendado para os cinco dias podem ser consultados na tabela 4 do Anexo A.

Na Tabela 8 pode ser consultado em quais dos gabinetes podem ser feitos os tratamentos disponíveis.

Tabela 8: Informação sobre em que gabinetes pode ser feito cada tratamento disponível

Gabinetes	Tratamentos
1	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 26, 30
2	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 26, 30
3	3, 10, 12, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 31, 32
4	3, 10, 12, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 31, 32

Capítulo 4

1. Resultados

Como já foi referido anteriormente, ao longo deste trabalho foram desenvolvidos dois algoritmos baseados nos métodos do Algoritmo Genético (AG) e do *Particle Swarm Optimization* (PSO) e, posteriormente, foram implementados no MATLAB. Para que fosse possível tirar mais conclusões sobre a utilização deste tipo de algoritmos em otimização, foi também utilizada a implementação do AG, que está disponível no pacote computacional do MATLAB.

Neste capítulo são apresentados todos os resultados dos seis casos de estudo com todos os algoritmos utilizados. Estes resultados foram obtidos com recurso ao MATLAB num computador ASUS K555L, com um processador Intel® Core™ i7-4510U CPU, com uma memória RAM de 8GB e um sistema operativo de 64-bit.

Para que fosse possível mostrar que a utilização destes métodos em MATLAB é vantajosa também a nível do tempo que se demora a fazer o escalonamento, foram feitas duas distribuições manuais do caso de estudo 1 e do caso de estudo 2 que demoraram cerca de cinco minutos a estarem concluídas. Quando o AG que foi desenvolvido durante este trabalho é implementado nos diferentes casos de estudo, este demora em média 38,6 segundos a apresentar resultados. Já o PSO apresenta um tempo médio de 8,9 segundos a retornar a solução ao problema. No caso do AG disponível no MATLAB, que apenas apresentou resultados para dois casos, demora 13,1 segundos, em média, a apresentar uma solução.

1.1. Resultados do Escalonamento Manual

1.1.1. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2

No primeiro caso de estudo os pacientes foram também distribuídos pelos consultórios de forma manual. Para o mesmo problema foram feitas duas distribuições, com o mesmo tempo final, de 80 minutos.

A Figura 1 representa a primeira distribuição dos exames no caso de estudo 1.

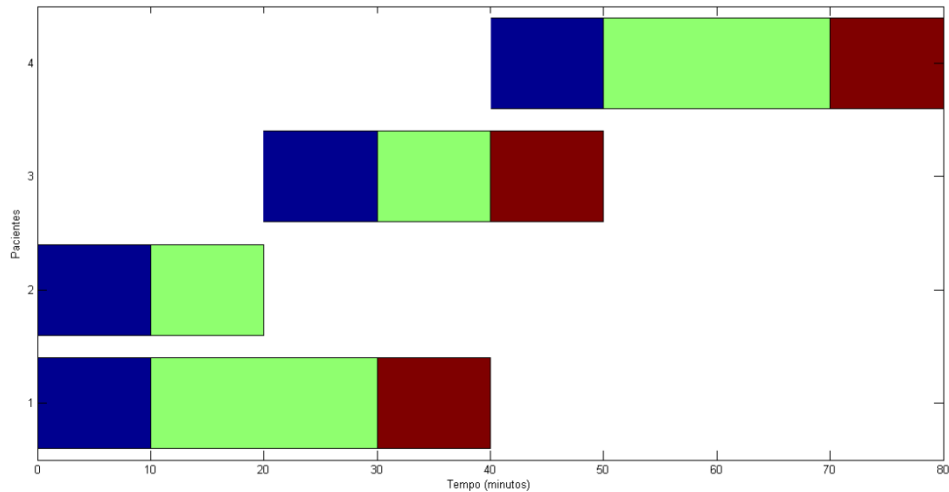


Figura 1: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho)

Como podemos observar pela Figura 1, o Paciente 1 realiza os três exames ao fim de 40 minutos. O Paciente 2 sai do consultório ao fim de 20 minutos com os exames já concluídos. No caso do Paciente 3, demora 30 minutos a efetuar os exames, mas só inicia a sua resolução 20 minutos após os dois primeiros pacientes começarem a ser atendidos, o que faz com que demora 50 minutos a abandonar os consultórios. Já o Paciente 4 começa a realizar o primeiro exame ao fim de 40 minutos e demora 40 minutos a ser atendido, o que perfaz um total de 80 minutos.

Na Figura 2 pode ser observada a distribuição dos pacientes pelos dois consultórios.

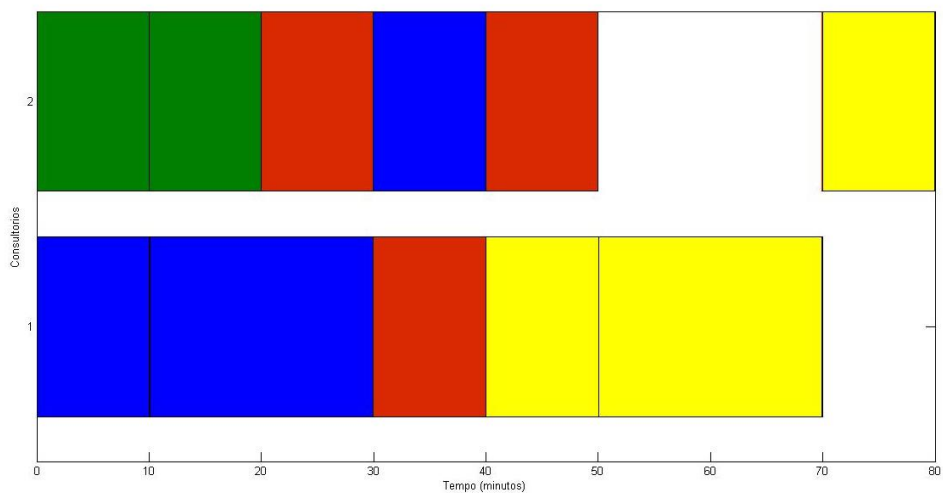


Figura 2: Primeira distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo)

Como pode ser observado na Figura 2, o Consultório 1 está livre ao fim de 70 minutos e o Consultório 2 encontra-se livre quando passarem 80 minutos, tendo uma pausa de 20 minutos, entre o atendimento ao Paciente 3 e o Paciente 4. Assim, é possível observar que o Paciente 1 realiza os dois primeiros exames, com uma duração de 30 minutos, no Consultório 1 e o terceiro exame é realizado no Consultório 2, atingindo assim os 40 minutos que este demora a efetuar os exames. No caso do Paciente 2, este apenas realiza os seus exames no consultório 2, demorando apenas 20 minutos. O Paciente 3 começa a realizar os exames no Consultório 2, demorando 10 minutos, desloca-se ao Consultório 1 onde realiza o segundo exame demorando 10 minutos e volta ao Consultório 2 onde realiza o último exame, fazendo assim os 30 minutos que o Paciente 3 demora a realizar os exames. O Paciente 4 realiza os dois primeiros exames no Consultório 1, ocupando este por 30 minutos e depois passa ao Consultório 2 onde realiza o último exame de 10 minutos, fazendo assim os 40 minutos previstos para este paciente.

Na Figura 3 está uma segunda tentativa de organização dos pacientes do caso de estudo 1, com o mesmo tempo de espera de 80 minutos.

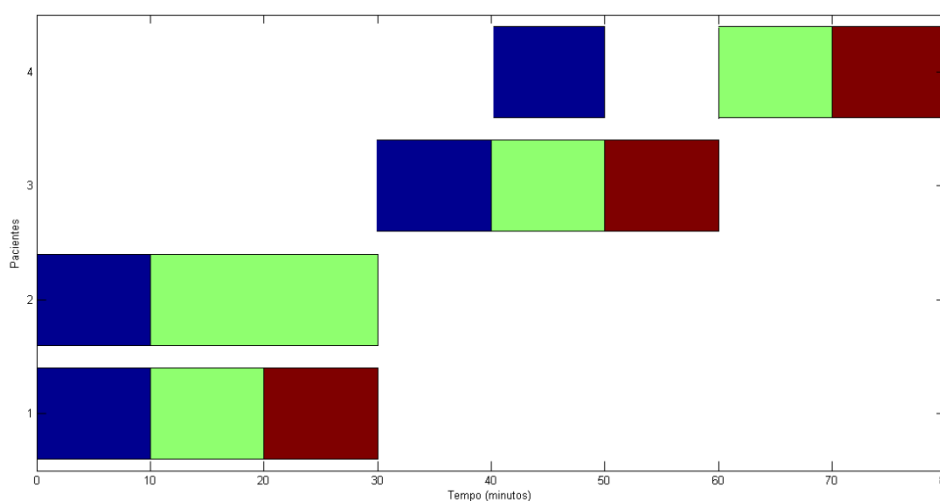


Figura 3: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho)

Como pode ser observado na Figura 3, o Paciente 1 faz os três exames seguidos, demorando 30 minutos. O Paciente 2 demora 30 minutos a realizar os dois exames. O Paciente 3 só começa a fazer os exames ao fim de 30 minutos e demora outros 30 minutos a realizar os 3 exames. O Paciente 4 realiza o primeiro exame ao fim de 40 minutos, tem um tempo de espera de 10 minutos e aos 60 minutos realiza os restantes dois exames, estando livre ao fim de 80 minutos.

Na Figura 4 pode ser observada a distribuição dos pacientes pelos dois consultórios.

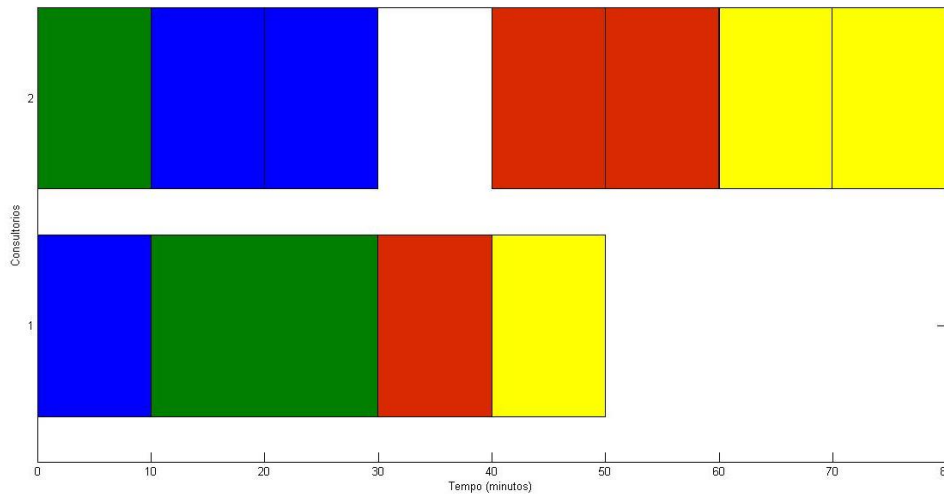


Figura 4: Segunda distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo)

Como pode ser visto na Figura 4, o Consultório 1 está livre após 50 minutos e o Consultório 2 ao fim de 80 minutos, havendo neste consultório 10 minutos de pausa entre os 30 e 40 minutos. O Paciente 1 realiza o primeiro exame no Consultório 1 e ao fim de 10 minutos realiza os restantes dois exames no Consultório 2, demorando 20 minutos a concluir os dois exames, perfazendo assim um total de 30 minutos para os três exames. O Paciente 2 realiza o primeiro exame no Consultório 2, ocupando 10 minutos do consultório e realiza o segundo e último exame no Consultório 1, demorando 20 minutos neste, estando assim livre ao fim de 30 minutos. O Paciente 3 faz o seu primeiro exame ao fim de 30 minutos no Consultório 1, demorando 10 minutos na resolução deste, passando de seguida para o Consultório 2 onde realiza os dois últimos exames que demoram 20 minutos, assim o Paciente 3 demora 30 minutos a concluir os exames. O Paciente 4 realiza o primeiro exame ao fim de 40 minutos no Consultório 1, passando para o Consultório 2, onde realiza os dois últimos exames a partir dos 60 minutos, demorando 20 minutos a terminar.

1.1.2. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3

Tal como no caso de estudo 1, os pacientes foram distribuídos pelos consultórios de forma manual e foram feitas também duas distribuições. A Figura 5 representa a primeira distribuição para o caso de estudo 2.

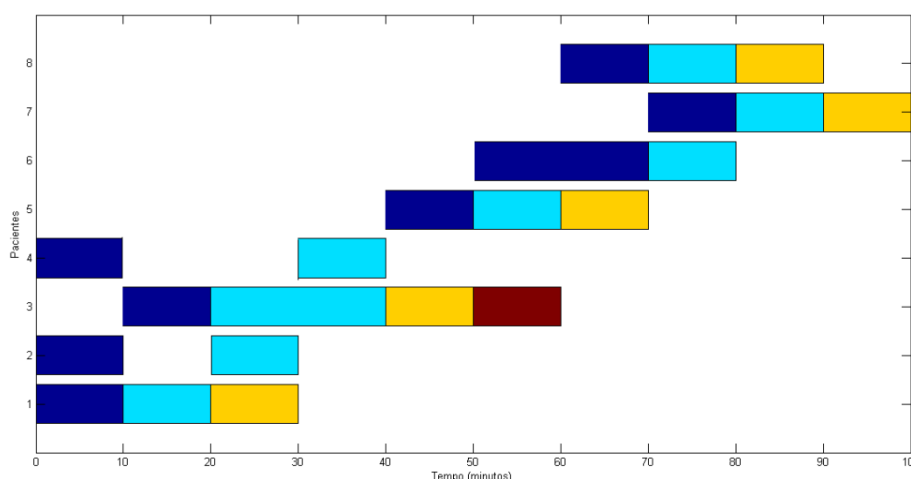


Figura 5: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 2 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)

Como pode ser observado na Figura 5, o Paciente 1 está livre ao fim de 30 minutos, já que os três exames demoram 10 minutos cada um e este é o primeiro a iniciar a resolução dos exames que tem agendados. O Paciente 2, apesar dos tempo de resolução de cada exame ser de 10 minutos, só se encontra livre ao fim de 30 minutos pois tem um tempo de espera de 10 minutos entre os 10 e os 20 minutos. O Paciente 3 começa a realizar os exames a partir dos 10 minutos, realizando os quatro exames ao fim de 50 minutos. O Paciente 4 está livre ao fim de 40 minutos já que os exames a resolver são de 10 minutos cada um mas tem um tempo de espera de 20 minutos entre estes dois. O Paciente 5 começa a realizar os exames ao fim de 40 minutos, estando livre após 30 minutos. O Paciente 6 demora 30 minutos a realizar os dois exames, começando o primeiro exame ao fim de 50 minutos. O Paciente 7 realiza o primeiro exame ao fim de 70 minutos e demora 30 minutos a efetuar os três exames. O Paciente 8 demora 30 minutos a realizar os três exames, sendo o seu primeiro exame efetuado após 60 minutos.

Na Figura 6 pode ser observada a primeira distribuição dos pacientes pelos três consultórios.

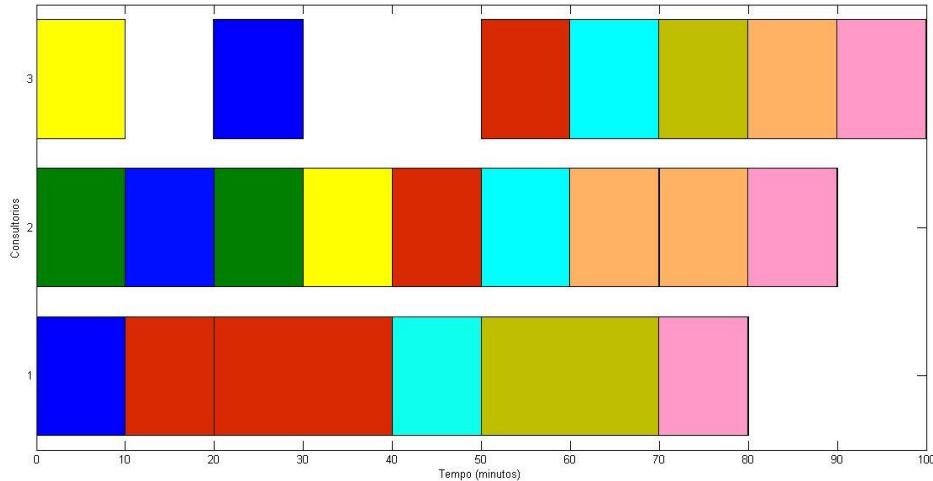


Figura 6: Primeira distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 2 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege)

Como pode ser observado na Figura 6, o Consultório 1 está livre ao fim de 80 minutos, o Consultório 2 encontra-se livre quando passarem 90 minutos e o Consultório 3 está livre ao fim de 100 minutos, tendo uma pausa de 10 minutos e outra de 20 minutos. O Paciente 1 realiza cada um dos seus exames em cada um dos consultórios, estando livre ao fim de 30 minutos. O Paciente 2 realiza os dois exames no Consultório 2, tendo que esperar 10 minutos entre os dois exames que tem a realizar. O Paciente 3 realiza os dois primeiros exames no Consultório 1, ocupando 30 minutos desse consultório, de seguida passa para o Consultório 2 onde realiza o terceiro exame de 10 minutos e finaliza no Consultório 3 onde realiza o último exame de 10 minutos. O Paciente 4 efetua o primeiro exame no Consultório 3 e tem um tempo de espera de 20 minutos até realizar o último exame de 10 minutos no Consultório 2. O Paciente 5 realiza cada um dos seus três exames em cada um dos três consultórios, demorando 10 minutos cada um. O Paciente 6 realiza o primeiro exame no Consultório 1, passando de seguida para o último exame no Consultório 3. O Paciente 7 realiza cada um dos três exames em cada um dos consultórios. O Paciente 8 efetua os dois primeiros exames no Consultório 2, passando de seguida ao Consultório 3 para efetuar o último exame.

Na Figura 7 está uma segunda tentativa da distribuição dos pacientes do caso de estudo 2.

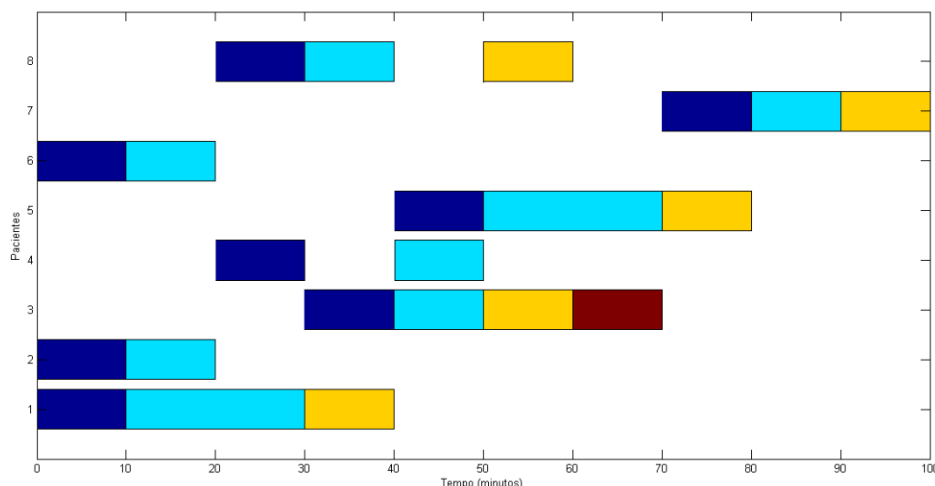


Figura 7: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 2 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)

Como representado na Figura 7, o Paciente 1 demora 40 minutos a realizar todos os exames, já o Paciente 2 está livre ao fim de 20 minutos. No que diz respeito ao Paciente 3, este inicia os exames ao fim de 30 minutos e demora 40 minutos a realizá-los. Estes três pacientes não têm nenhum tempo de espera entre os exames. Já o Paciente 4 realiza o primeiro exame ao fim de 20 minutos, exame esse que tem uma duração de 10 minutos e de seguida espera 10 minutos para realizar o segundo e último exame, que tem uma duração de 10 minutos. O Paciente 5 realiza o seu primeiro exame ao fim de 40 minutos, efetuando os três exames que tinha a fazer seguidos, demorando 40 minutos a ficar livre. O Paciente 6, tal como o Paciente 2, está livre ao fim de 20 minutos. O Paciente 7 tem que esperar 70 minutos para realizar o seu primeiro exame, realizando os três exames em 30 minutos. O Paciente 8 faz o primeiro exame ao fim de 20 minutos, realizando de seguida o segundo exame e tem que esperar 10 minutos até realizar o terceiro e último exame.

Na Figura 8 pode ser observada uma segunda distribuição dos pacientes pelos três consultórios.

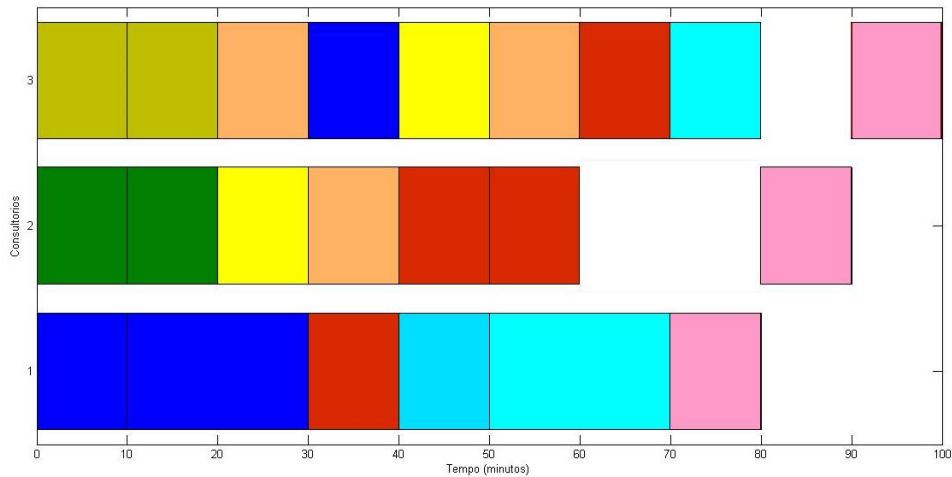


Figura 8: Segunda distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 2 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege)

Pela análise á Figura 8, o Consultório 1 está livre ao fim de 80 minutos, não havendo nenhum tempo livre durante este tempo e o Consultório 2 está livre ao fim de 90 minutos, tendo um tempo livre de 20 minutos, entre os 60 e os 80 minutos. Por último, o Consultório 3 apenas se encontra livre ao fim de 100 minutos, tendo 10 minutos livres entre os 80 e 90 minutos. Nesta segunda distribuição, o Paciente 1 realiza os dois primeiros exames no Consultório 1, realizando o terceiro e último exame no Consultório 3, sem tempo livre entres os exames. O Paciente 2 realiza os dois exames no Consultório 2. O Paciente 3 percorre os três consultórios, já que realiza o primeiro exame no Consultório 1, os dois exames seguintes no Consultório 2 e o último exame no Consultório 3. O Paciente 4 realiza o primeiro exame no Consultório 2 e, após um tempo de espera de 10 minutos, realiza o segundo e último exame no Consultório 3. O Paciente 5 realiza os dois primeiros exames no Consultório 1 e de seguida dirige-se ao Consultório 3 para realizar o último exame. O Paciente 6 realiza os seus dois exames num único consultório, nomeadamente o Consultório 3. O Paciente 7 realiza cada um dos seus três exames em cada um dos três consultórios. O Paciente 8 realiza o primeiro exame no Consultório 3, de seguida ocupa o Consultório 2 para a realização do segundo exame e, após um tempo de espera de 10 minutos, dirige-se ao Consultório 3 para realizar o último exame.

1.2. Resultados com Algoritmo Genético

1.2.1. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2

Para o caso de estudo 1, os resultados foram também obtidos pela implementação do AG desenvolvido ao longo deste trabalho. Neste caso foi apenas recolhida uma distribuição já que o algoritmo é programado de forma a devolver a melhor solução. A Figura 9 representa a distribuição dos exames de cada paciente para o caso de estudo 2.

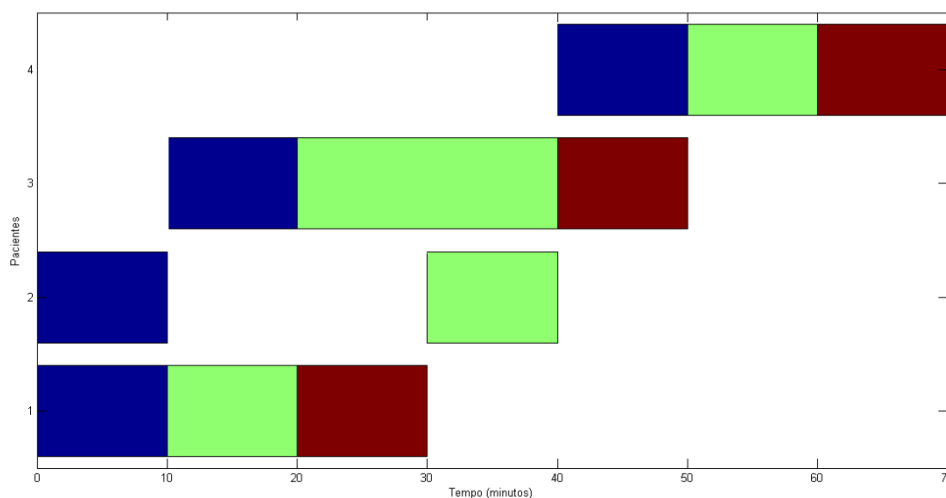


Figura 9: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho)

Como pode ser concluído através do gráfico da Figura 9, o Paciente 1 realiza todos os seus exames em 30 minutos. No caso do Paciente 2, este demora 40 minutos a realizar os exames já que tem um tempo de espera de 20 minutos. O Paciente 3 demora 40 minutos a realizar os exames, começando aos 10 minutos. Por último, o Paciente 4 inicia o primeiro exame aos 40 minutos e demora 30 minutos a realizar os exames.

A Figura 10 representa a distribuição dos quatro pacientes do caso de estudo 1 pelos dois consultórios.

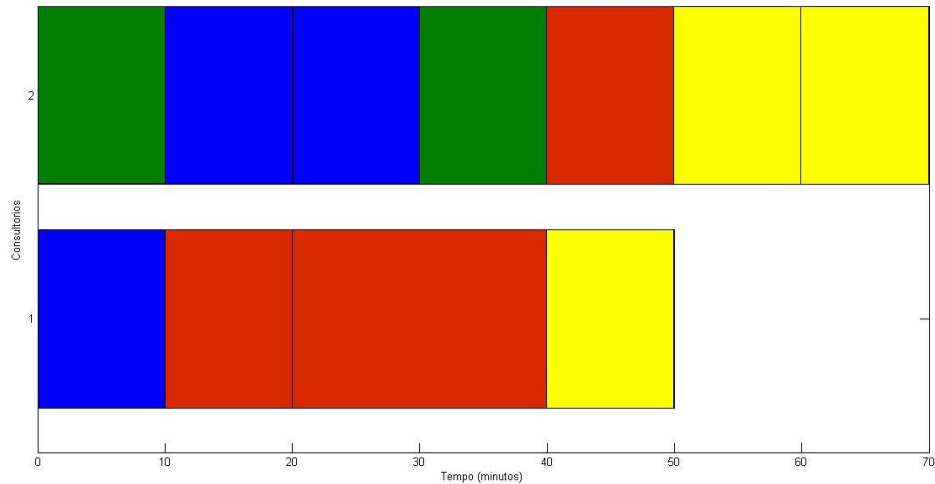


Figura 10: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo)

Como demonstra a Figura 10, o Consultório 1 fica livre ao fim de 50 minutos e o Consultório 2 fica livre depois de 70 minutos. Nenhum dos dois consultórios tem tempos livres. Mais uma vez, cada paciente é designado por uma cor. O Paciente 1 está representado pela cor azul, o Paciente 2 pela cor verde, o Paciente 3 está representado pela cor vermelha e o Paciente 4 pela cor amarela. O Paciente 1 realiza o primeiro exame no Consultório 1 e passa para o Consultório 2 para realizar os dois exames que faltam. O Paciente 2 realiza os dois exames no Consultório 2, com um intervalo de 20 minutos entre os exames. O Paciente 3 realiza dois exames no Consultório 1 e passa de seguida para o Consultório 2 onde realiza o último exame. Por último, o Paciente 4 realiza o primeiro exame no Consultório 1 e passa para o Consultório 2 onde realiza os últimos dois exames.

1.2.2. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3

No caso de estudo 2, é apresentada também apenas uma distribuição e na Figura 11 é possível observar essa distribuição.

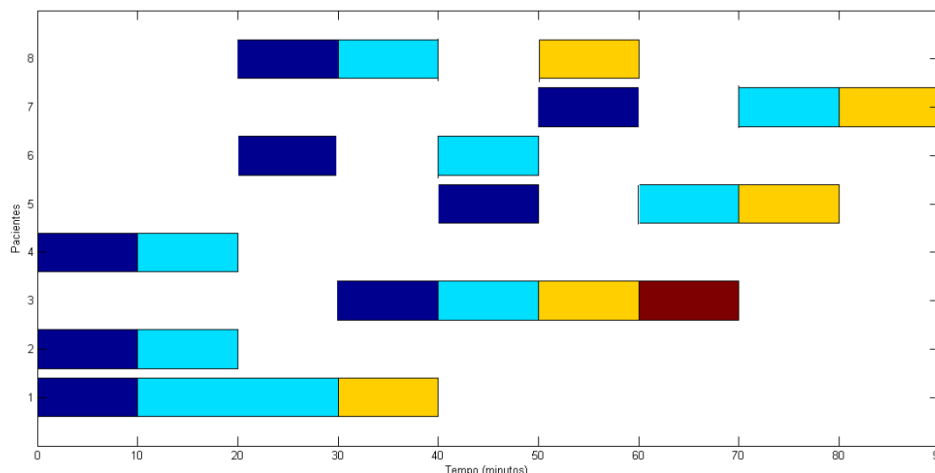


Figura 11: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 2 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)

Através do gráfico da Figura 11, é possível observar que o Paciente 1 demora 40 minutos a realizar os seus exames e o Paciente 2 apenas 20 minutos. No caso do Paciente 3, este realiza o primeiro exame aos 30 minutos e demora 40 minutos a realizar todos os exames. O Paciente 4, tal como o Paciente 2, demora apenas 20 minutos a realizar os exames. O Paciente 5 realiza o primeiro exame aos 40 minutos e demora 40 minutos a realizar os três exames, já que tem um tempo de espera de 10 minutos após o primeiro exame. O Paciente 6 inicia o primeiro exame ao fim de 20 minutos, tendo um tempo de espera de 10 minutos entre os dois exames o que faz com que demore 30 minutos a ter os exames feitos. O Paciente 7 inicia o seu primeiro exame ao fim de 50 minutos, a seguir ao primeiro exame tem um tempo de espera de 10 minutos e de seguida realiza os dois últimos exames. Assim, este paciente demora 40 minutos a abandonar a clinica. O Paciente 8 realiza os dois primeiros exames após 20 minutos do início do escalonamento e, a seguir a realizar estes dois exames, espera 10 minutos para poder realizar o último exame. Este paciente demora 40 minutos a realizar os três exames.

Na Figura 12 é possível observar a distribuição dos pacientes pelos três consultórios.

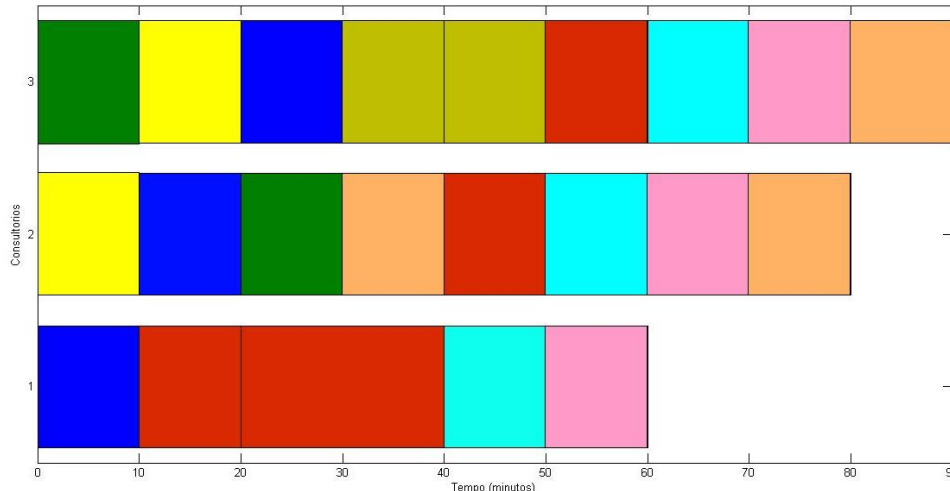


Figura 12: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 2 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege)

Pela análise que pode ser feita á Figura 12, pode-se concluir que o Consultório 1 ficará livre ao fim de 60 minutos, o Consultório 2 ao fim de 80 minutos e o Consultório 3 ao fim de 90 minutos. Nenhum dos três consultórios tem tempo livre entre os exames a realizar. Nesta distribuição, os pacientes 1, 5 e 7 realizam cada um dos seus três exames em cada um dos três consultórios, sem tempo de espera entre cada exame. Já o Paciente 2 realiza o seu primeiro exame no Consultório 3 e após um intervalo de espera de 10 minutos, dirige-se ao Consultório 2 para realizar o último exame. O Paciente 3 realiza os seus dois primeiros exames no Consultório 1, dirige-se de seguida para o Consultório 2 onde realiza mais um exame e vai realizar o seu último exame no Consultório 4. O Paciente 4 realiza o seu primeiro exame no Consultório 2 e passa logo a seguir para o Consultório 3 onde realiza o seu último exame. O Paciente 6 realiza os seus dois exames no Consultório 3, sem tempo de espera entre eles. O Paciente 8 faz dois dos exames no Consultório 2, havendo um tempo de espera de 30 minutos entre eles e, no fim do segundo exame, passa de seguida ao Consultório 3 onde termina os exames.

1.2.3. Caso de Estudo 3: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2

A Figura 13 representa a distribuição dos exames dos quatro pacientes no caso de estudo 3.

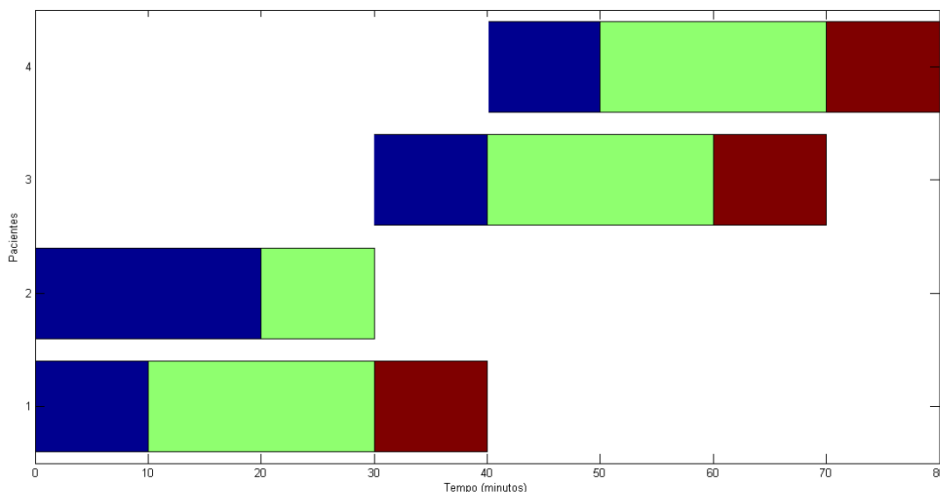


Figura 13: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 3 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho)

Da Figura 13 podemos retirar o tempo que os pacientes demoram a realizar os seus exames. O Paciente 1 demora 40 minutos a realizar os três exames e o Paciente 2 demora 30 minutos. No caso do Paciente 3, este realiza o seu primeiro exame ao fim de 30 minutos e demora 40 minutos a realizar os três exames que tem marcados. O Paciente 4, tal como o Paciente 1 e 3 também demora 40 minutos a terminar os exames no entanto realiza o seu primeiro exame ao fim de 40 minutos.

Na Figura 14 podemos observar o tempo de ocupação de cada consultório, como também a distribuição dos quatro pacientes pelos dois consultórios.

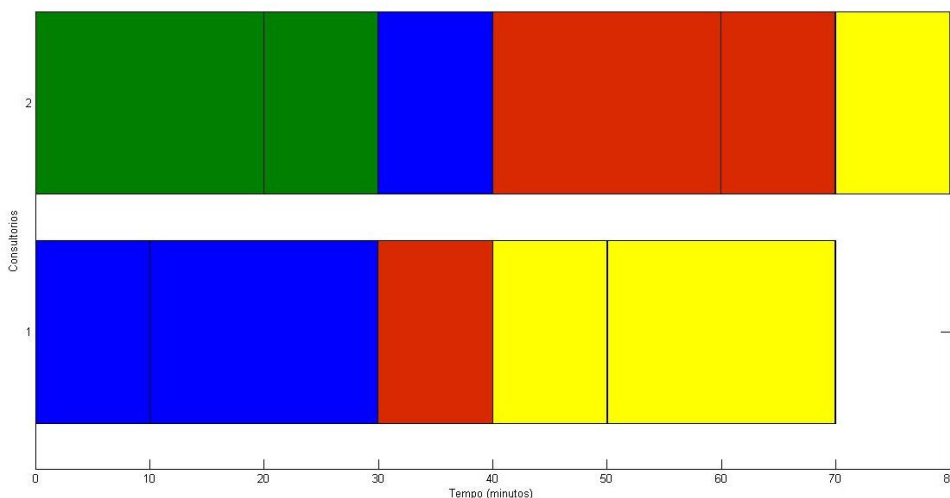


Figura 14: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 3 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo)

Como pode ser observado na Figura 14, o Consultório 1 fica livre ao fim de 70 minutos e o Consultório 2 ao fim de 80 minutos. Nenhum dos consultórios tem tempo livre, todos os exames são realizados sem intervalos. O Paciente 1 começa a realizar os seus exames no Consultório 1 e, após realizar dois exames, dirige-se ao Consultório 2 onde realiza o seu último exame. O Paciente 2 realiza os dois exames no Consultório 2. No caso do Paciente 3, este realiza o seu primeiro exame no Consultório 1 e, no Consultório 2, realiza os dois últimos exames. Por último, o Paciente 4 realiza os dois primeiros exames no Consultório 1 e, por fim, realiza o último exame no Consultório 2.

1.2.4. Caso de Estudo 4: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3

No que diz respeito ao caso de estudo 4 com utilização do AG, é apresentada apenas uma distribuição já que o algoritmo é programado a devolver sempre a melhor solução.

Na Figura 15 pode ser a distribuição dos exames que cada um dos pacientes tem a realizar.

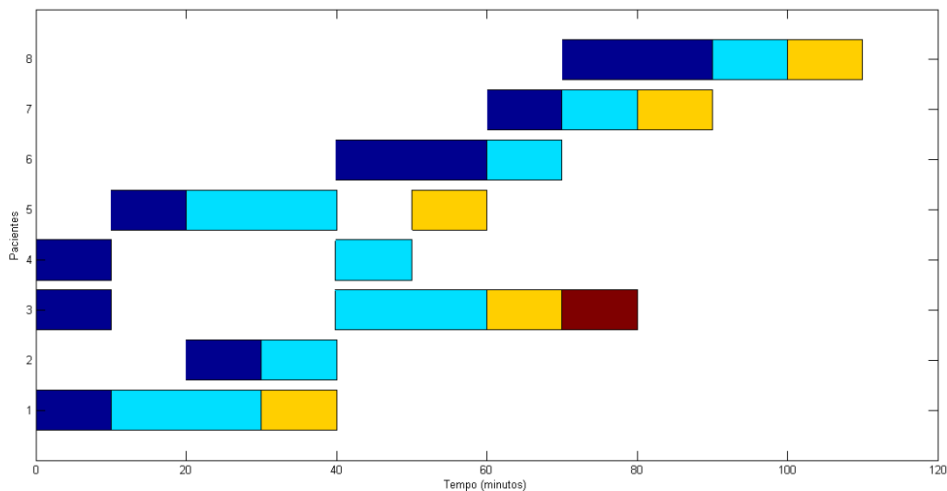


Figura 15: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 4 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)

Como pode ser observado na Figura 15, o Paciente 1 realiza os três exames num espaço de 40 minutos. O Paciente 2 demora 20 minutos a realizar os dois exames, mas só realiza o primeiro exame após 20 minutos. O Paciente 3 realiza o primeiro exame nos primeiros minutos, no entanto tem que esperar 30 minutos até realizar os restantes três exames. Assim, este paciente está 80 minutos no consultório para realizar os quatro exames. O Paciente 4 também tem um tempo de espera de 30 minutos entre os dois exames que tem a realizar, ficando 50 minutos até

realizar os exames. O Paciente 5 realiza o seu primeiro exame após 10 minutos, fazendo o segundo exame de seguida, espera 10 minutos e realiza o último exame, o que perfaz um tempo total de 50 minutos. O Paciente 6 demora 30 minutos a realizar os exames, começando o primeiro exame apenas ao fim de 40 minutos. O Paciente 7 entra ao fim de 60 minutos e demora 30 minutos a realizar os três exames. Por último, o Paciente 8 demora 40 minutos a realizar os exames, começando a realiza-los ao fim de 70 minutos.

Na Figura 16 está representada a distribuição dos pacientes do caso de estudo 4 pelos consultórios.

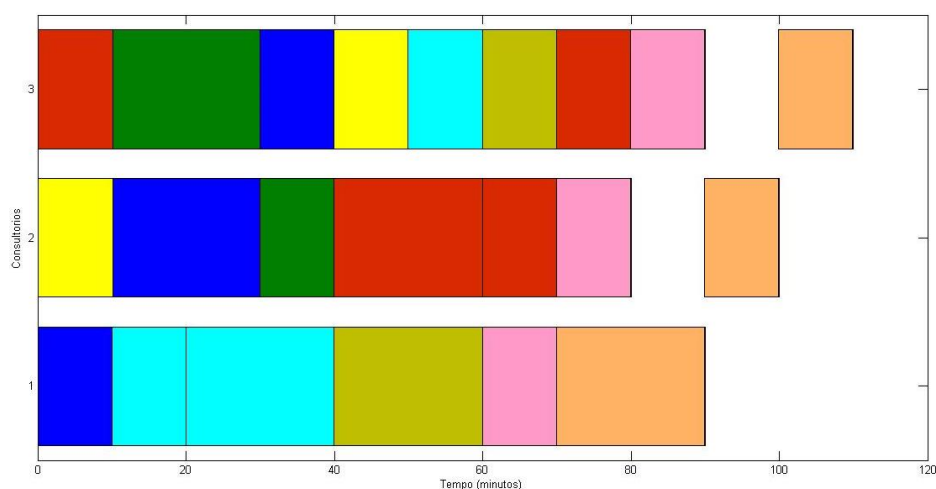


Figura 16: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 4 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege)

Pela interpretação da Figura 16, pode ser dito que o Consultório 1 está livre ao fim de 90 minutos sem nenhum tempo livre. O Consultório 2, tal como o Consultório 3, possui 10 minutos de tempo livre: o Consultório 2 entre os 80 e os 90 minutos e o Consultório 3 entre os 90 e os 100 minutos. O Consultório 2 fica livre ao fim de 100 minutos e o Consultório 3 ao fim de 110 minutos. O Paciente 1 realiza cada um dos três exames que tem a realizar em cada um dos consultórios sucessivamente. O Paciente 2 realiza o primeiro exame no Consultório 3, passando de seguida para o Consultório 2 onde realiza o último exame. O Paciente 3 realiza o primeiro exame no Consultório 3, após 30 minutos dirige-se ao Consultório 2 onde realiza mais dois exames e de seguida volta ao Consultório 3 para realizar o último exame. O Paciente 4 faz o primeiro exame no Consultório 2 e após 30 minutos realiza o último exame no Consultório 3. Já o Paciente 5 realiza os dois primeiros exames no Consultório 1 e, após um tempo de espera

de 10 minutos, passa ao Consultório 3 onde realiza o último exame. O Paciente 6 começa pelo Consultório 1 onde realiza o primeiro exame e termina no Consultório 3, onde faz o seu segundo e último exame. Quer o Paciente 7 como o Paciente 8 realizam cada um dos seus três exames em cada um dos três consultórios.

1.2.5. Caso de Estudo 5: Pacientes 31; Exames 24; Consultórios 4

Na Figura 17 pode ser observada a distribuição dos exames de cada paciente para o caso de estudo 5.

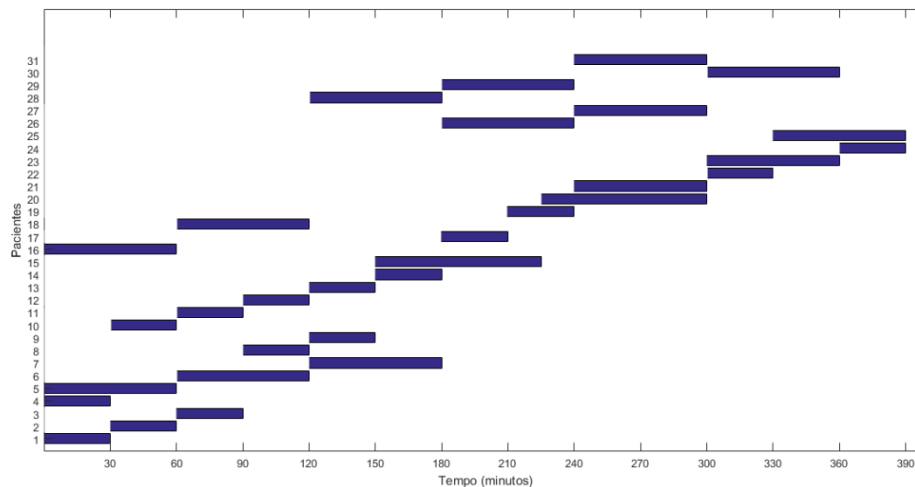


Figura 17: Tempo de resolução dos tratamentos para os trinta e um pacientes do caso de estudo 5

Observando o gráfico da Figura 17, os pacientes 1 e 4 demoram 30 minutos a terminar os seus tratamentos e os pacientes 2, 5 10 e 16 terminam os seus tratamentos após 60 minutos. No caso dos pacientes 3 e 11, estes demoram 90 minutos a terminar os seus tratamentos. Os pacientes 6, 8, 12 e 18 estão livres ao fim de 120 minutos. Somente os pacientes 9 e 13 demoram 150 minutos a abandonar os consultórios. Os pacientes 7, 14 e 28 demoram 180 minutos a realizar os tratamentos. Apenas o Paciente 17 demora 210 minutos a realizar o seu tratamento, como também o Paciente 15 é o único a demorar 225 minutos. No caso dos pacientes 19, 26 e 29, demoram 240 minutos a abandonar os consultórios após realizarem os seus tratamentos. São quatro os pacientes que demoram 300 minutos a realizarem os seus tratamentos, sendo os pacientes 20, 21, 27 e 31. O Paciente 22 demora 330 minutos a abandonar os consultórios. Os pacientes 23 e 30 demoram 360 a concluírem os seus tratamentos e, por fim, os pacientes 24 e 25 terminam os seus tratamentos após 390 minutos.

A Figura 18 apresenta os resultados da distribuição no caso de estudo 5 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

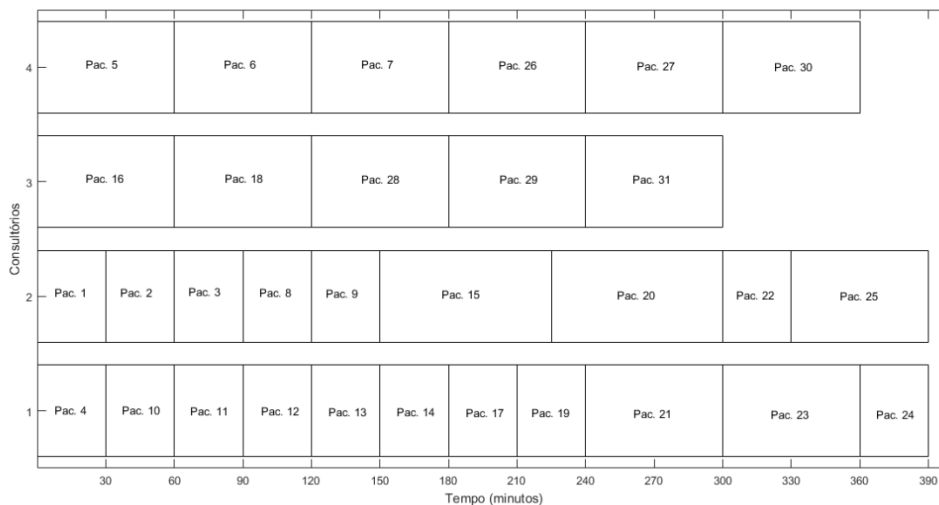


Figura 18: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 5

Pela análise da Figura 18, podemos concluir que o Consultório 1 e o Consultório 2 ficam disponíveis ao fim de 390 minutos. O Consultório 3 fica livre ao fim de 300 minutos e, por fim, o Consultório 4 fica disponível ao fim de 360 minutos. Como pode ser observado, nenhum dos consultórios possui tempo livre, estando todo o tempo disponível ocupado.

1.2.6. Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal

Na Figura 19 pode ser observada a distribuição dos exames dos pacientes no primeiro dia do caso de estudo 6.

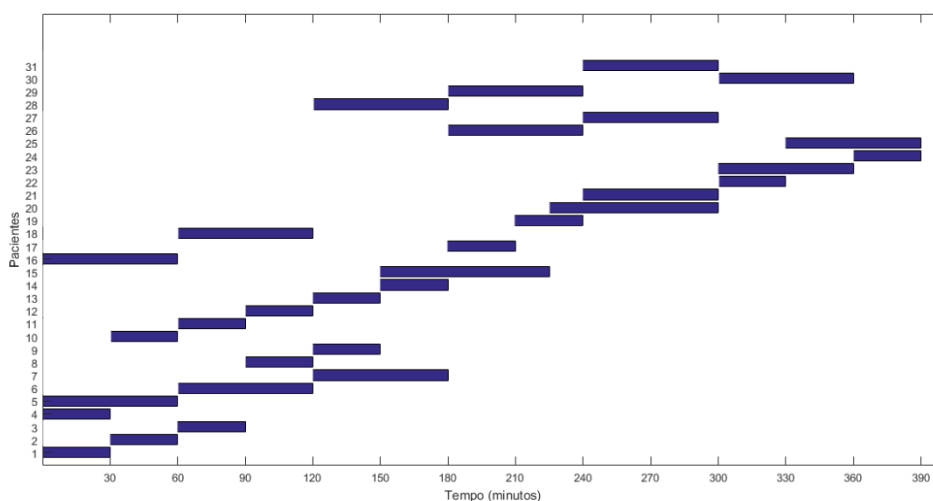


Figura 19: Tempo de resolução dos tratamentos para os trinta e um pacientes do primeiro dia do caso de estudo 6

Capítulo 4

A Figura 20 apresenta os resultados da distribuição no primeiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

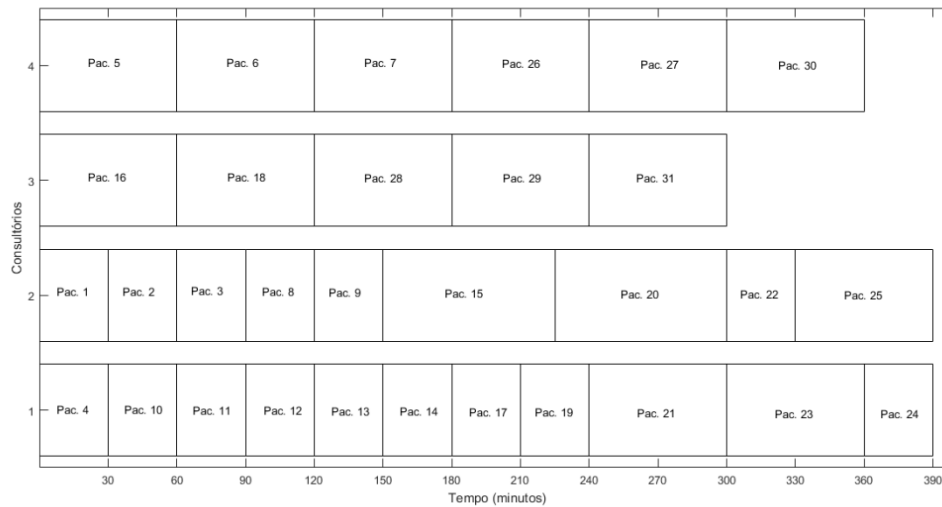


Figura 20: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no primeiro dia do caso de estudo 6

Como se pode reparar, os resultados para o primeiro dia do caso de estudo 6 são os mesmos que no caso de estudo do dia 5 pois os dados eram iguais, isto é, o mesmo número de pacientes com os mesmos tratamentos a serem realizados.

Na Figura 21 pode ser observada a distribuição dos exames de cada paciente para o segundo dia do caso de estudo 6.

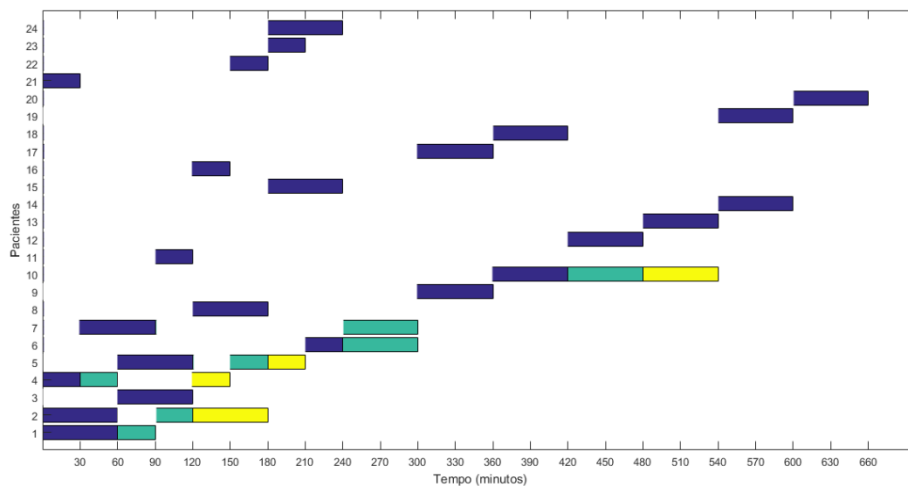


Figura 21: Tempo de resolução dos tratamentos para os 24 pacientes do segundo dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame – Amarelo)

Como pode ser observado na Figura 21, apenas o Paciente 21 termina a realização dos seus tratamentos ao fim de 30 minutos. O Paciente 1 demora 90 minutos a deixar os consultórios, após realizar os seus dois exames. O Paciente 3 e 11 deixam os consultórios ao fim de 120 minutos. O Paciente 4 e o Paciente 16 deixam os consultórios ao fim de 150 minutos. No caso do Paciente 4, este tem um tempo de espera de 60 minutos entre a realização do segundo e do terceiro tratamento. O Paciente 2, 8 e 22 demoram 180 minutos a abandonar os consultórios. O Paciente 2 tem que esperar 30 minutos, após realizar o seu primeiro tratamento, para fazer os dois últimos tratamentos que tem agendado. O Paciente 5 e o Paciente 23 demoram 210 minutos a terminar os tratamentos. Como já aconteceu, também o Paciente 5 tem um tempo de espera de 30 minutos entre a realização do seu primeiro e segundo tratamento. O Paciente 15 e o Paciente 24 demoram 240 minutos a abandonarem os consultórios, sendo que o exame de cada um dos pacientes tem uma duração de 60 minutos. Após 300 minutos, os pacientes 6 e 7 podem abandonar os consultórios, sendo que o Paciente 7 tem um tempo de espera de 150 minutos entre a realização do primeiro e do segundo tratamento. O Paciente 9 e o Paciente 17 demoram 360 minutos a abandonar os consultórios. O Paciente 18 é o único que deixa o consultório após 420 minutos e o Paciente 12 o único que abandona o consultório após 480 minutos. O Paciente 10 e o Paciente 13 abandonam o consultório após 540 minutos. Os Pacientes 14 e 19, ambos com um tratamento de uma duração de 60 minutos, abandonam os consultórios após 600 minutos. O Paciente 20 é o último a abandonar os consultórios, sendo que, tendo um exame de 60 minutos, abando o consultório após 600 minutos do começo da realização dos tratamentos.

A Figura 22 apresenta os resultados da distribuição no segundo dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

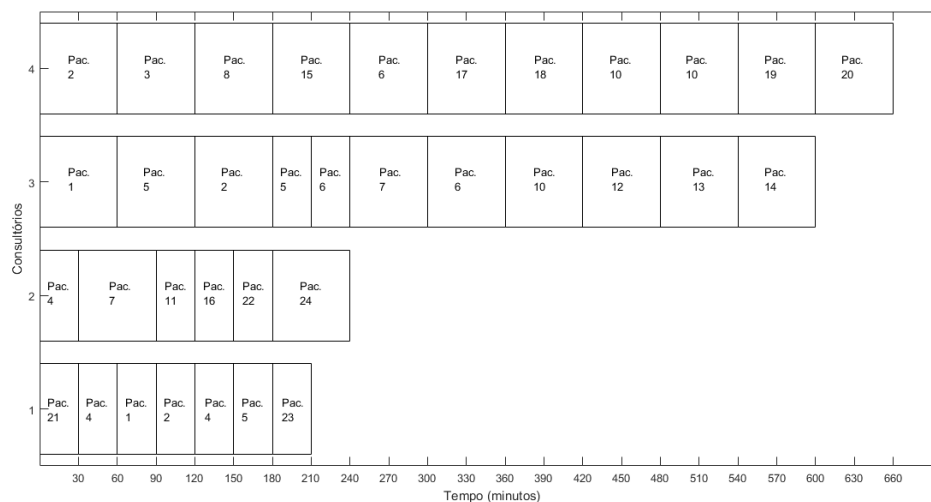


Figura 22: Distribuição dos 24 pacientes pelos consultórios no segundo dia do caso de estudo 6

Capítulo 4

Como pode ser observado na Figura 22, nenhum dos consultórios possui tempo de espera entre os vários pacientes sendo que o Consultório 1 fica livre ao fim de 210 minutos, o Consultório 2 fica livre ao fim de 240 minutos, o Consultório 3 ao fim de 600 minutos e, por último, o Consultório 4 fica livre ao fim de 660 minutos.

Na Figura 23 pode ser observada a distribuição dos exames de cada paciente para o terceiro dia do caso de estudo 6.

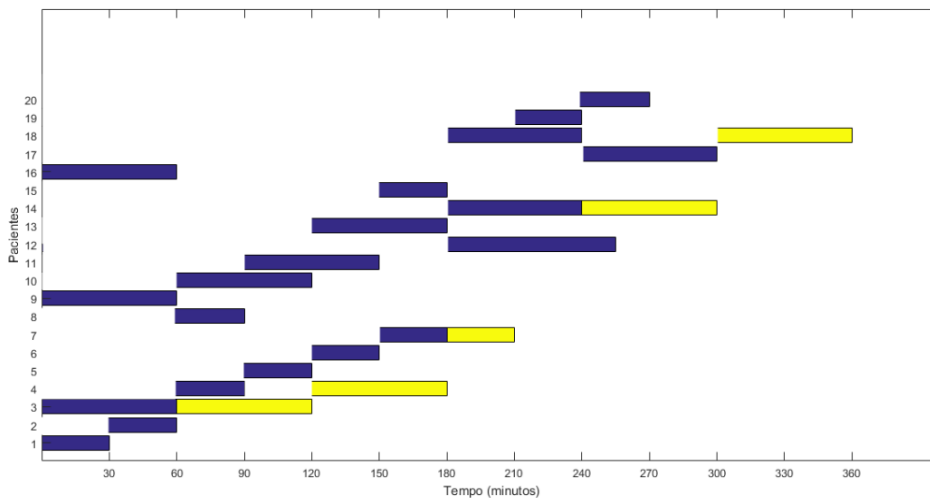


Figura 23: Tempo de resolução dos tratamentos para os 20 pacientes do terceiro dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Amarelo)

Ao fim de 30 minutos, apenas o Paciente 1 já tem o seu tratamento realizado. No caso dos pacientes 2, 9 e 16, estes demoram 60 minutos a abandonar os consultórios sendo que o tratamento do paciente 2 é de 30 minutos e os tratamentos dos pacientes 9 e 16 é de 60 minutos. O Paciente 8 demora 90 minutos a abandonar os consultórios, após realizar o seu tratamento de 30 minutos. Os pacientes 3, 5 e 10 demoram 120 minutos a abandonar os consultórios. Os pacientes 6 e 11 demoram 150 minutos para abandonarem os consultórios, após realizarem os seus tratamentos de 30 e 60 minutos, respetivamente. Os pacientes 4, 13 e 15 demoram 180 minutos a abandonarem os consultórios. O paciente 4 espera 30 minutos entre a resolução dos seus dois tratamentos e os pacientes 13 e 15 realizam um tratamento de 60 e 30 minutos, respetivamente. O Paciente 7 é o único que demora 210 minutos. Os pacientes 18 e 19 demoram 240 minutos a abandonar os consultórios, após realizarem os seus tratamentos de 60 e 30 minutos, respetivamente. O Paciente 12 demora 255 minutos a abandonar os consultórios. O Paciente 20 demora 270 a abandonar os consultórios. Os pacientes 14 e 17 demoram 300 minutos a abandonar os consultórios. Por fim, o Paciente 18 deixa os consultórios após 360 minutos, tendo um tempo de espera de 60 minutos entre os seus dois tratamentos.

A Figura 24 apresenta os resultados da distribuição no terceiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

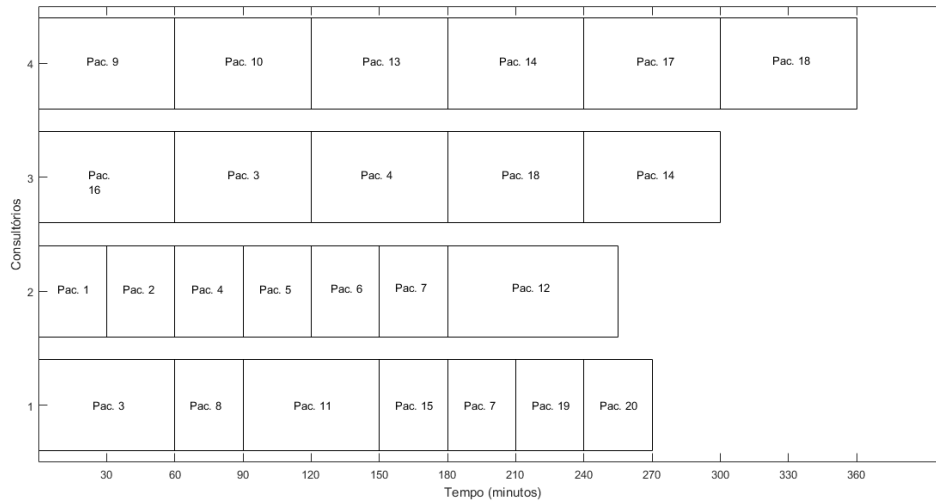


Figura 24: Distribuição dos 20 pacientes pelos consultórios no terceiro dia do caso de estudo 6

Como pode ser observado na Figura 24, nenhum dos quatro consultórios possui tempo livre entre os vários tratamentos dos pacientes. O Consultório 2 é o primeiro a ficar livre, ao fim de 255 minutos, ficando a seguir o Consultório 1, ao fim de 270 minutos, sendo que o Consultório 3 fica desocupado ao fim de 300 minutos e o Consultório 4 é o último a ficar livre ao fim de 360 minutos.

Na Figura 25 pode ser observada a distribuição dos exames de cada paciente para o quarto dia do caso de estudo 6.

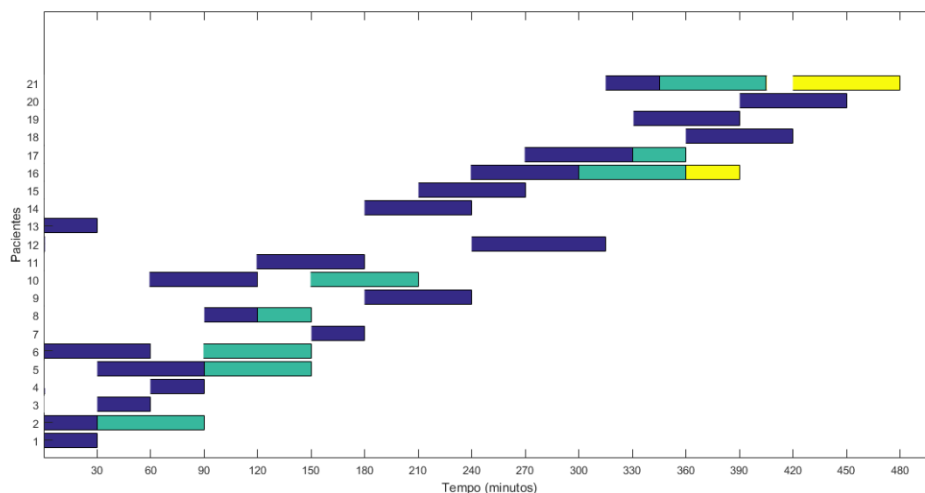


Figura 25: Tempo de resolução dos tratamentos para os 21 pacientes do quarto dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame – Amarelo)

Capítulo 4

No quarto dia do caso de estudo 6, apenas os pacientes 1 e 13 demoram 30 minutos a abandonar os consultórios, realizando logo que começa o dia os seus tratamentos de 30 minutos. O Paciente 3 demora 60 minutos a abandonar os consultórios, depois de realizar o seu exame de 30 minutos. Os pacientes 2 e 4 demoram 90 minutos a realizarem os seus exames e deixarem os consultórios. Os pacientes 5, 6 e 8 deixam os consultórios após 150 minutos e o Paciente 6 tem um tempo de espera de 30 minutos entre a resolução dos seus dois tratamentos. Os pacientes 7 e 11 abandonam os consultórios após 180 minutos do início da resolução dos exames. O Paciente 10, tendo um tempo de espera de 30 minutos entre os seus dois tratamentos, abandona a clínica após 210 minutos. O Paciente 9 e o Paciente 14 demoram 240 minutos a abandonar os consultórios, tendo realizado, cada um, um tratamento de 60 minutos. Apenas o Paciente 15 demora 270 minutos a deixar os consultórios, fazendo um tratamento de 60 minutos. O Paciente 12, tendo marcado um tratamento de 75 minutos, abandona os consultórios após 315 minutos. O Paciente 17 abandona os consultórios após 360 minutos, realizando dois tratamentos de 60 e 30 minutos cada um. Os pacientes 16 e 19 demoram 390 minutos a deixar os consultórios e o Paciente 18 demora 420 minutos. O Paciente 20 demora 450 minutos a abandonar o consultório e, por último, o Paciente 21 abandona os consultórios após 480 minutos, tendo um tempo de espera de 15 minutos entre a resolução dos seus dois últimos tratamentos.

A Figura 26 apresenta os resultados da distribuição no quarto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

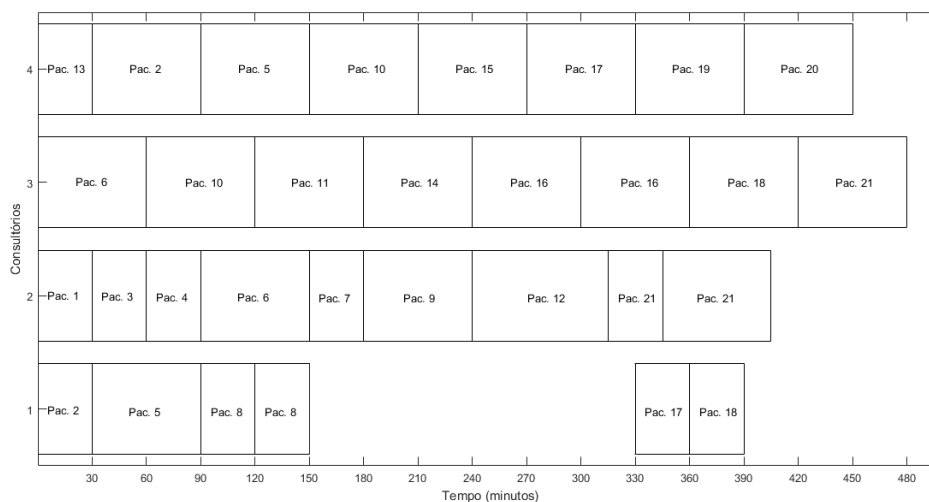


Figura 26: Distribuição dos 21 pacientes pelos consultórios no quarto dia do caso de estudo 6

No que diz respeito ao quarto dia do caso de estudo 6, apenas o Consultório 1 tem 180 minutos livres durante o escalonamento dos pacientes, ficando livre ao fim de 390 minutos. O Consultório 2 fica livre de seguida, após 405 minutos. O Consultório 4 é o que fica livre em terceiro lugar, passando 450 minutos. Por último, ao fim de 480 minutos, o último paciente abandona o Consultório 3.

Na Figura 27 pode ser observada a distribuição dos exames de cada paciente para o quinto dia do caso de estudo 6.

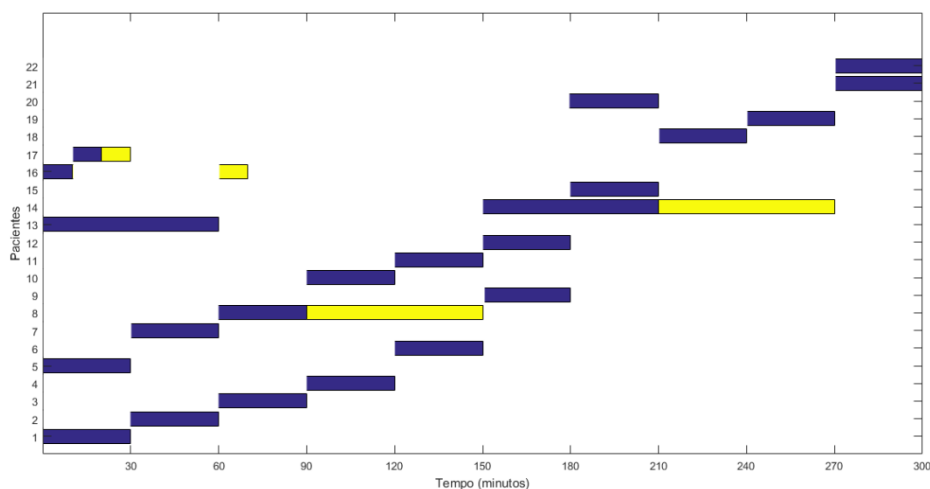


Figura 27: Tempo de resolução dos tratamentos para os 22 pacientes do quinto dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Amarelo)

Como pode ser observado na Figura 27, os pacientes 1, 5 e 17 abandonam o consultório após 30 minutos. Os pacientes 2 e 7, após realizarem os seus tratamentos de 30 minutos, e o Paciente 13, tendo resolvido o seu tratamento de 60 minutos, abandonam os consultórios após 60 minutos. O Paciente 16, que resolve o seu primeiro tratamento passados 10 minutos e que espera 60 minutos até a realização do seu último tratamento, que tem uma duração de 10 minutos, abandona os consultórios após 70 minutos. O Paciente 3 abandona o consultório após 90 minutos. Os pacientes 4 e 10 abandonam os consultórios após 120 minutos, tendo realizando um tratamento de 30 minutos. Os pacientes 6, 8 e 11 abandonam os consultórios ao fim de 150 minutos. Os pacientes 9 e 12 abandonam os consultórios ao fim de 180 após realizarem um tratamento de 30 minutos cada um. Os pacientes 15 e 20 terminam os seus tratamentos ao fim de 210 minutos. O Paciente 18 é o único que deixa os consultórios após um período de 240 minutos. Os pacientes 14 e 19 abandonam os consultórios ao fim de 270 minutos. Por último,

Capítulo 4

após realizarem os seus tratamentos de 30 minutos, os pacientes 21 e 22 deixam os consultórios ao fim de 300 minutos.

A Figura 28 apresenta os resultados da distribuição no quinto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

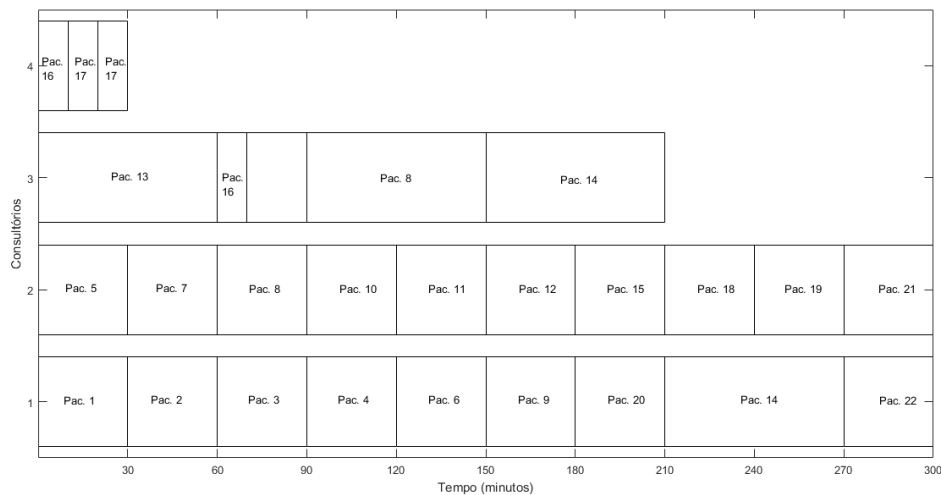


Figura 28: Distribuição dos 22 pacientes pelos consultórios no quinto dia do caso de estudo 6

No caso do quinto dia do caso de estudo 6, o primeiro consultório a ficar livre é o Consultório 3, onde apenas se realizam três tratamentos de 10 minutos cada um, fazendo com que este espaço fique livre o fim de 30 minutos. De seguida, após 210 minutos, é o Consultório 3 o próximo a ficar livre. Os consultórios 1 e 2 ficam livres ao mesmo tempo, após se passarem 300 minutos.

1.3. Resultados com o Algoritmo Genético do pacote computacional do MATLAB

Todos os casos de estudo foram também sujeitos à utilização do AG disponível no pacote computacional do MATLAB, sendo que alguns deles não apresentaram resultados, como poderá ser visto mais abaixo.

1.3.1. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2

Na figura 29 pode ser observada a distribuição dos exames dos quatro pacientes no caso de estudo 1.

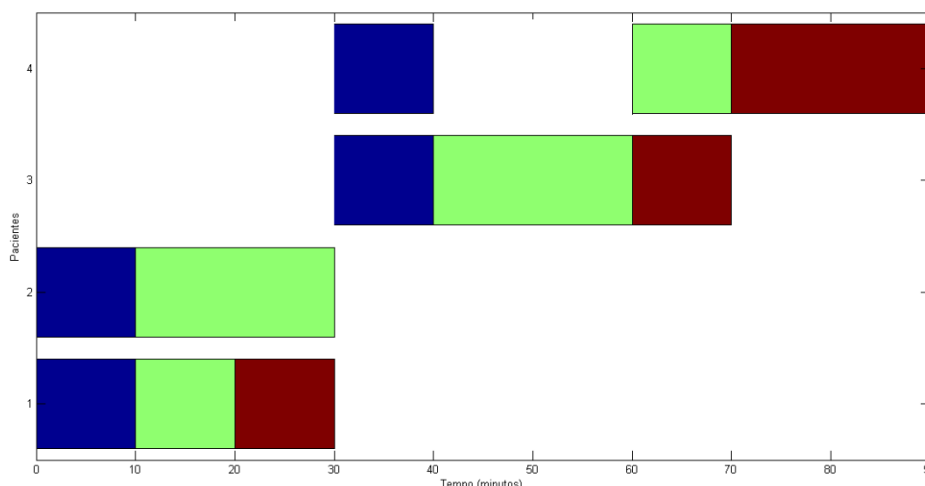


Figura 29: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho)

Ao analisar a Figura 29, pode ser dito que, no caso do Paciente 1 e no caso do Paciente 2, ambos abandonam os consultórios ao fim de 30 minutos. O Paciente 3, tal como o Paciente 4, começam os seus exames ao fim de 30 minutos. No caso do Paciente 3, este realiza os seus três exames seguidos, no entanto o Paciente 4, após realizar o seu primeiro exame, tem um tempo de espera de 20 minutos, e só depois realiza os seus dois últimos exames. Posto isto, o Paciente 4 apenas deixa os consultórios ao fim de 60 minutos.

Ainda no que diz respeito aos resultados do caso de estudo 1, na figura 30 pode ser observada a distribuição dos quatro pacientes pelos dois consultórios disponíveis.

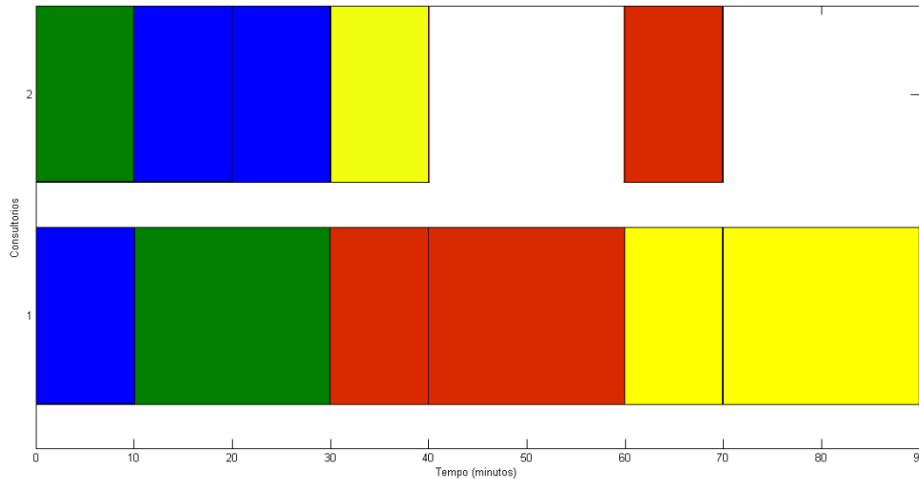


Figura 30: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo)

No que diz respeito ao Consultório 1, pela análise da Figura 30, este fica livre ao fim de 90 minutos e o Consultório 2 fica livre ao fim de 70 e possui 20 minutos sem estar ocupado pela resolução de exames entre os 40 e os 60 minutos. O Paciente 1 realiza o seu primeiro exame no Consultório 1 e os seus dois restantes exames são realizados no Consultório 2 ao contrário do Paciente 2 que começa por resolver o primeiro exame no Consultório 2 e o ultimo exame no Consultório 1. O Paciente 3 realiza os seus dois primeiros exames no Consultório 1, dirigindo-se ao Consultório 2 para fazer o seu último exame. O Paciente 4 começa por resolver o primeiro exame no Consultório 2 e, ao fim de 20 minutos de espera, dirige-se ao Consultório 1 onde termina a resolução dos exames marcados.

1.3.2. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3

O caso de estudo 2 envolve mais pacientes e mais consultórios e, por esta razão, o algoritmo não encontrou nenhuma solução, mesmo sendo feitas mais uma vez 200 iterações.

1.3.3. Caso de Estudo 3: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2

A Figura 31 representa a distribuição dos exames dos quatro pacientes do caso de estudo 3. Com a utilização do AG do pacote computacional do MATLAB, foram precisas 100 iterações para que o algoritmo apresentasse uma solução.

Como pode ser observado na Figura 31, o Paciente 1 demora 40 minutos a deixar os consultórios, não tendo tempo de espera entre os exames que realiza. Também o Paciente 2 não

precisa de esperar entre a resolução dos seus dois exames e abandona os consultórios ao fim de 30 minutos. O Paciente 3 começa a realizar o seu primeiro exame ao fim de 30 minutos, realizando todos os exames sem tempo de espera e está livre ao fim de 40 minutos. Já no caso do Paciente 4, este realiza o seu primeiro exame ao fim de 40 minutos, tem um tempo de espera de 10 minutos e realiza o segundo e o terceiro exame, fazendo com que abandone os consultórios ao fim de 50 minutos após começar a resolver os exames, o que perfaz um total de 90 minutos.

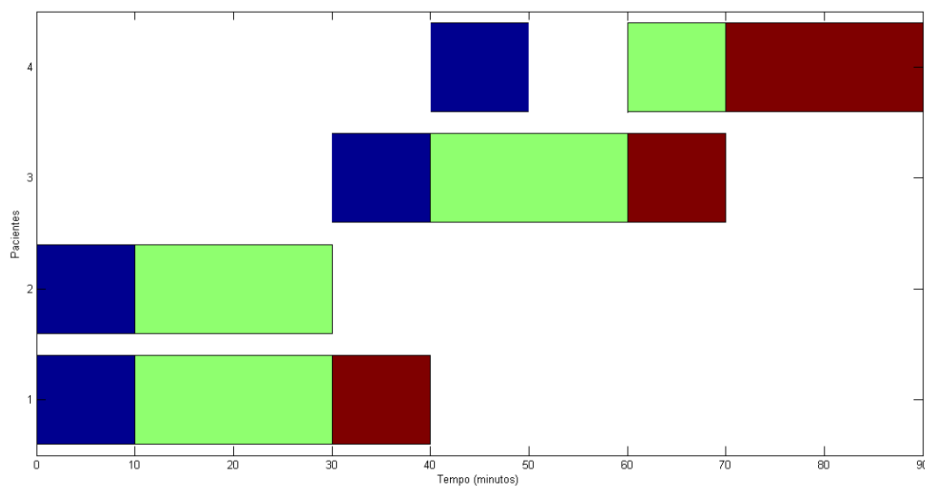


Figura 31: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 3 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho)

Na Figura 32, ainda no que diz respeito aos resultados do caso de estudo 3, pode ser observada a distribuição dos pacientes pelos dois consultórios disponíveis.

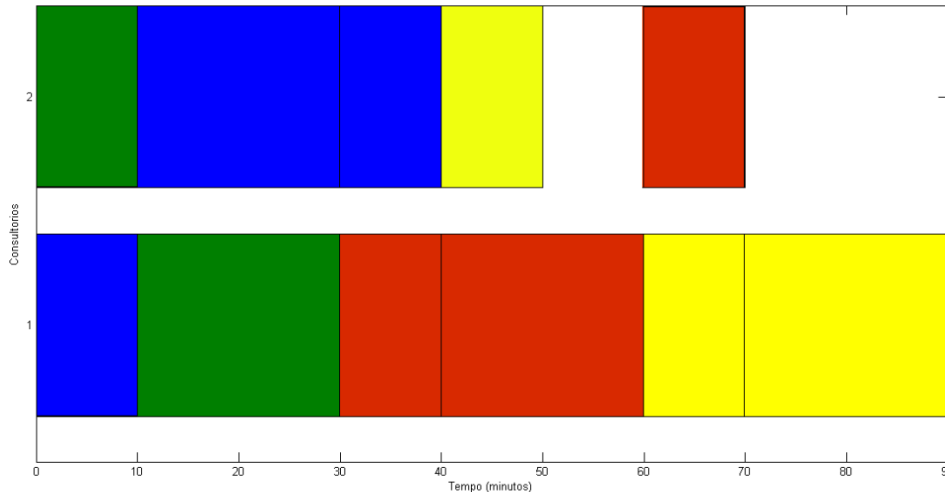


Figura 32: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 3 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo)

O Consultório 1 fica livre ao fim de 90 minutos; já o Consultório 2 fica livre ao fim de 70 minutos, tendo um intervalo de 10 minutos, entre os 50 e os 60 minutos, onde não está ocupado por nenhum exame. O Paciente 1 realiza o seu primeiro exame no Consultório 1, seguindo para o Consultório 2 onde realiza os seus dois últimos exames. O Paciente 2 começa por se deslocar ao Consultório 2 para realizar o seu primeiro exame e termina no Consultório 1. O Paciente 3 realiza os seus dois primeiros exames no Consultório 1 e de seguida dirige-se ao Consultório 2 onde faz o seu último exame. O Paciente 4 realiza o seu primeiro exame no Consultório 2 e, ao fim de 10 minutos, desloca-se ao Consultório 1 onde realiza, seguidamente, os seus dois últimos exames.

1.3.4. Caso de Estudo 4: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3

Após terem sido feitas 200 iterações, o algoritmo não encontrou nenhuma solução para o caso 4. Uma das razões para que tal possa ter acontecido pode ser o facto de este caso ter mais pacientes e mais consultórios envolvidos.

1.3.5. Caso de Estudo 5: Pacientes 31; Exames 24; Consultórios 4

Mais uma vez, sendo um caso mais complexo já que apresenta mais pacientes e mais tratamentos, o AG disponível no MATLAB não apresenta resultados para este caso.

1.3.6. Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal

Sendo este um caso de estudo ainda mais complexo do que todos os anteriores, envolvendo um maior número de pacientes e tratamentos, o AG disponível no MATLAB, mais uma vez não encontrou nenhuma solução para a resolução deste problema.

1.4. Resultados com PSO

O algoritmo desenvolvido com base no PSO foi testado em todos os casos de estudo. De seguida, são apresentados os resultados obtidos após a implementação do algoritmo.

1.4.1. Caso de Estudo 1: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2

A Figura 33 apresenta a distribuição dos exames dos pacientes no caso do estudo 1.

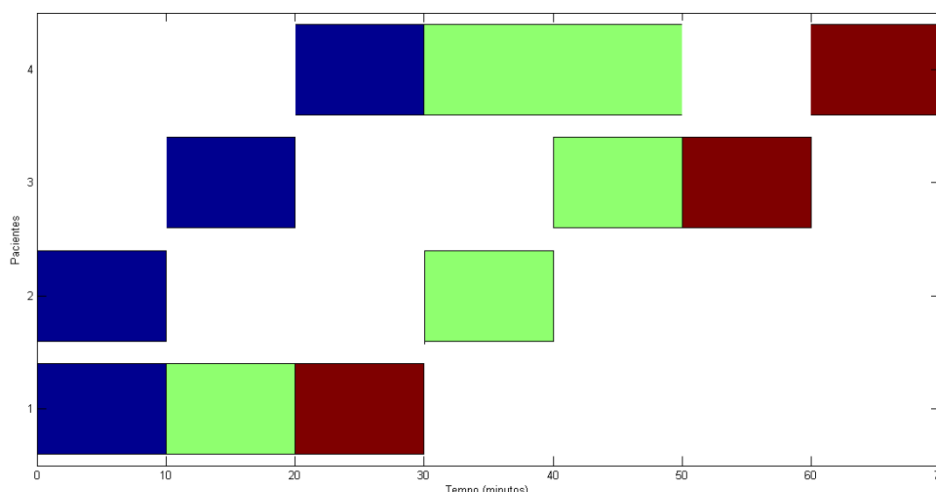


Figura 33: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 1 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)

Como mostra a Figura 33, o Paciente 1 realiza todos os seus exames ao fim de 30 minutos. No caso do Paciente 2, ao fim de realizar o primeiro exame, tem um tempo de espera de 20 minutos e após esse tempo realiza o seu último exame, isto é, abandona os consultórios ao fim de 40 minutos. Passados 10 minutos, o Paciente 3 inicia a resolução dos seus exames e, após a realização do seu primeiro exame, tem um tempo de espera de 20 minutos e realiza os seus dois últimos exames, o que faz com que esteja livre apenas ao fim de 60 minutos. Por último, o Paciente 4 realiza o seu primeiro exame ao fim de 20 minutos e, após realizar o segundo exame, espera 10 minutos e realiza o seu último exame, estando 50 minutos no consultório.

Na Figura 34 é possível verificar a distribuição dos quatro pacientes pelos dois consultórios, bem como o tempo de ocupação de cada um.

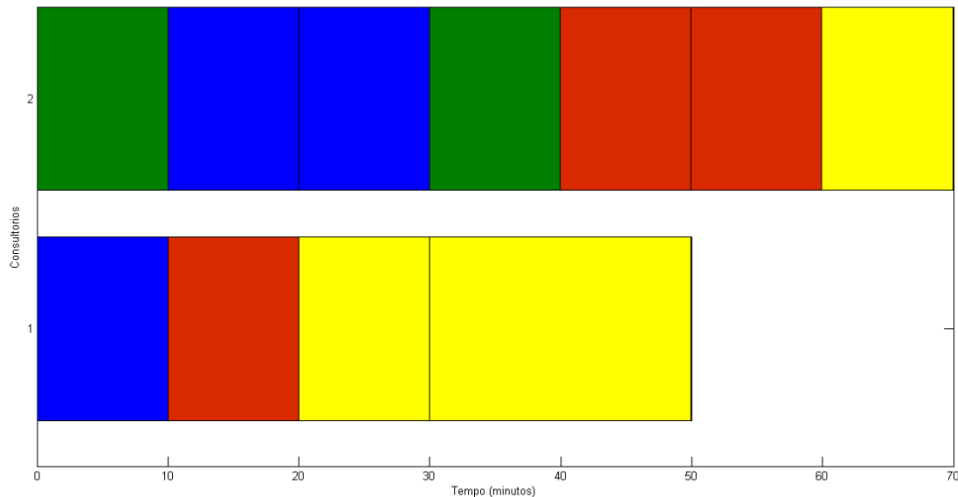


Figura 34: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 1 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 - Amarelo)

Como é possível observar pela Figura 34, o Consultório 1 fica livre ao fim de 50 minutos e o Consultório 2 fica livre ao fim de 70 minutos. O Paciente 1 realiza o seu primeiro exame no Consultório 1 e de seguida dirige-se ao Consultório 2 para realizar os dois últimos exames. O Paciente 2 realiza os dois exames no Consultório 2, com um tempo de espera de 20 minutos entre a resolução dos dois exames. O Paciente 3 realiza o primeiro exame no Consultório 1 e ao fim de 20 minutos dirige-se ao Consultório 2 onde realiza os seus dois últimos exames. O Paciente 4 realiza dois exames no Consultório 1 e, passando 10 minutos, segue para o Consultório 2 onde realiza o seu último exame.

1.4.2. Caso de Estudo 2: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3

A Figura 35 representa a distribuição dos exames dos oito pacientes no caso de estudo 2.

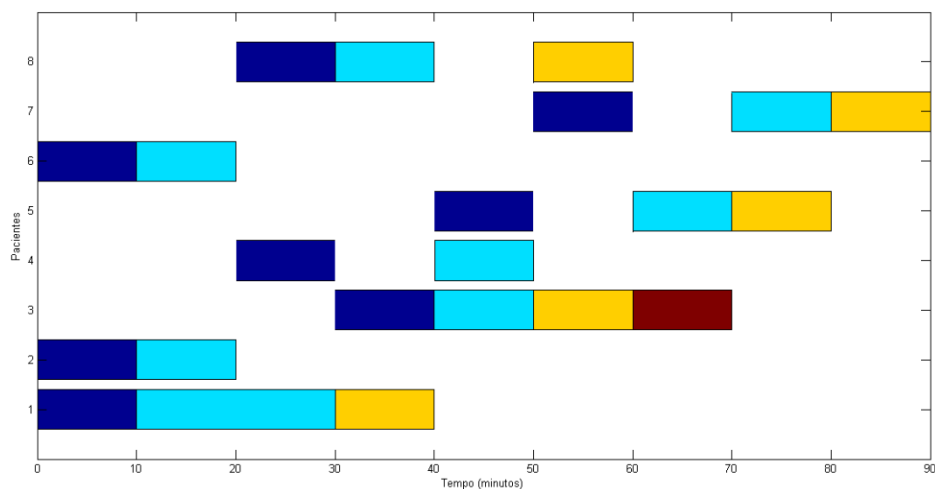


Figura 35: Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 2 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)

Como pode ser possível observar na Figura 35, o Paciente 1 demora 40 minutos a resolver todos os exames. O Paciente 2 e o Paciente 6 apenas demoram 20 minutos a realizar os seus dois exames. O Paciente 3 realiza o primeiro exame ao fim de 30 minutos e demora 40 minutos a fazer os quatro exames seguidamente, estando livre ao fim de 70 minutos. O Paciente 4 faz o seu primeiro exame ao fim de 20 minutos e, depois de um intervalo de espera de 10 minutos, realiza o seu último exame, o que faz com que deixe os consultórios ao fim de 50 minutos, já que começa a realizar os seus exames aos 20 minutos. O Paciente 5 realiza o seu primeiro exame ao fim de 40 minutos e, ao fim de realizar esse exame, espera 10 minutos até realizar os dois que ainda tem em falta o que faz um total de 80 minutos até deixar os consultórios. O Paciente 7, após realizar o seu primeiro exame ao fim de 50 minutos, também tem um intervalo de espera de 10 minutos, o que faz com que demore 40 minutos até resolver todos os exames, deixando os consultórios ao fim de 90 minutos após o início do escalonamento. Por último, o Paciente 8 realiza o primeiro exame ao fim de 20 minutos, seguidamente realiza o segundo exame e depois de um tempo de espera de 10 minutos, realiza o último exame que lhe resta o que faz um total de 40 minutos para resolver todos os exames que tem agendados, deixando os consultórios ao fim de 60 minutos.

Na Figura 36 está representada a distribuição dos oitos pacientes pelos três consultórios disponíveis no caso de estudo 2.

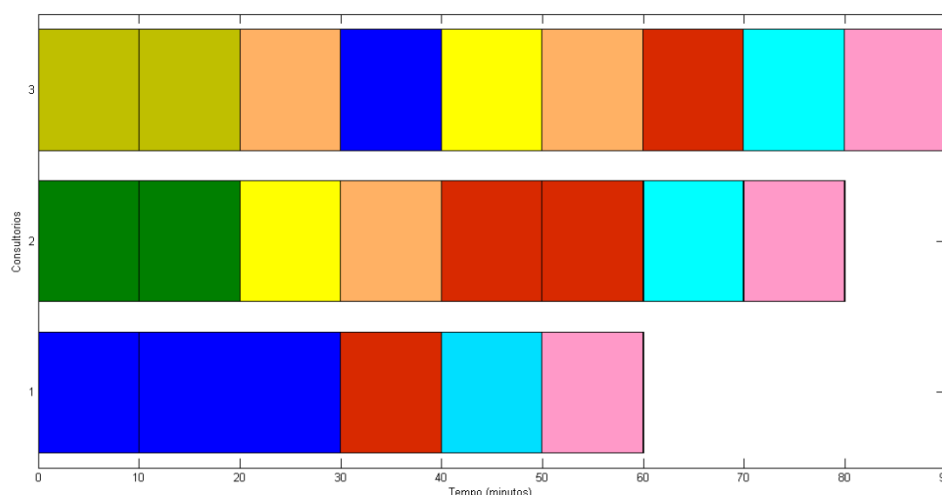


Figura 36: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 2 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege)

Como é possível observar na Figura 36, o Consultório 1 fica disponível ao fim de 60 minutos, o Consultório 2 ao fim de 80 minutos e o Consultório 3 fica disponível após passarem 90 minutos. Em todos os consultórios os exames são realizados seguidamente, não havendo intervalos. O Paciente 1 realiza os dois primeiros exames no Consultório 1 e dirige-se imediatamente ao Consultório 3 onde realiza o seu último exame. O Paciente 2 realiza os seus dois únicos exames no Consultório 2. O Paciente 3 realiza o primeiro exame no Consultório 1 passa para o Consultório 2 e de seguida para o Consultório 3. O Paciente 4 realiza o seu primeiro exame no Consultório 2 e, passados 10 minutos, dirige-se ao Consultório 3 onde realiza o seu último exame. O Paciente 5 realiza cada um dos seus três exames em cada um dos consultórios e, ao fim do primeiro exame, espera 10 minutos até realizar o segundo exame. O Paciente 6 realiza os seus dois exames no Consultório 3. O Paciente 7 realiza cada um dos seus exames em cada um dos três consultórios e, após realizar o primeiro exame, tem um tempo de espera de 10 minutos até realizar o segundo exame. O Paciente 8 realiza o primeiro exame no Consultório 3, dirige-se em seguida ao Consultório 2 para realizar o segundo exame e, ao fim de 10 minutos dirige-se de novo ao Consultório 3 onde realiza o seu último exame.

1.4.3. Caso de Estudo 3: Pacientes 4; Exames 4; Consultórios 2

A Figura 37 apresenta o resultado da aplicação do algoritmo PSO ao caso de estudo 3, onde há quatro pacientes, distribuídos por dois consultórios. Estes resultados foram obtidos após 100 iterações para que houvesse a certeza de que seria obtida a melhor solução.

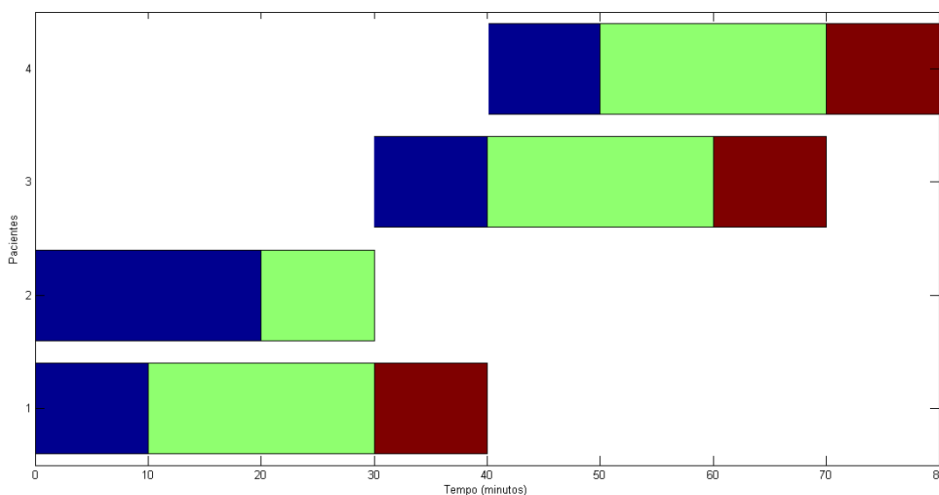


Figura 37: Tempo de resolução dos exames para os quatro pacientes no caso de estudo 3 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame - Vermelho)

Observando o gráfico da Figura 37, o Paciente 1 demora 40 minutos a realizar os seus três exames e o Paciente 2 demora 30 minutos para fazer os dois exames que tem agendados. Em relação ao Paciente 3, este realiza o seu primeiro exame passados 30 minutos e ao fim de 40 minutos já se encontra com todos os exames feitos. O Paciente 4 começa o seu primeiro exame ao fim de 40 minutos, demorando, tal como o Paciente 3, 40 minutos a realizar os seus três exames agendados, abandonando os consultórios ao fim de 80 minutos.

Na figura 38 pode ser observado o tempo de ocupação dos dois consultórios em estudo assim como a distribuição dos quatro pacientes pelos consultórios disponíveis.

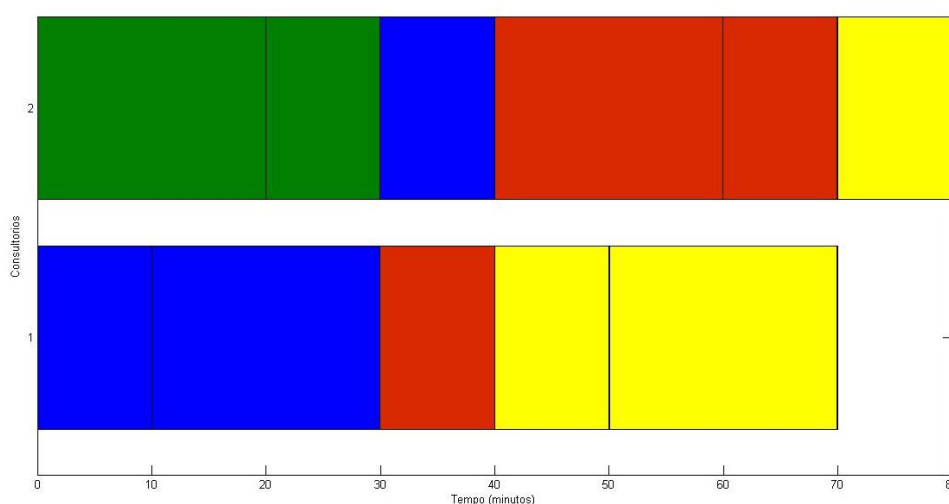


Figura 38: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 3 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo)

Pelos resultados apresentados no gráfico da Figura 38 pode ser visto que o Consultório 1 está livre ao fim de 70 minutos e o Consultório 2 ao fim de 80 minutos. Em nenhum dos dois consultórios há tempo livre, isto é, os exames são todos realizados seguidamente. O Paciente 1 realiza dois exames no Consultório 1 e o seu último exame é feito no Consultório 2. O Paciente 2 é o único paciente que realiza os seus exames no mesmo consultório, neste caso o Consultório 2. O Paciente 3 realiza o seu primeiro exame no Consultório 1 e segue para o Consultório 2 onde realiza os seus dois últimos exames. O Paciente 4 realiza dois exames no Consultório 1 e em seguida dirige-se ao Consultório 2.

1.4.4. Caso de Estudo 4: Pacientes 8; Exames 4; Consultórios 3

Na Figura 39 pode ser observada a distribuição dos exames dos pacientes do caso de estudo 4.

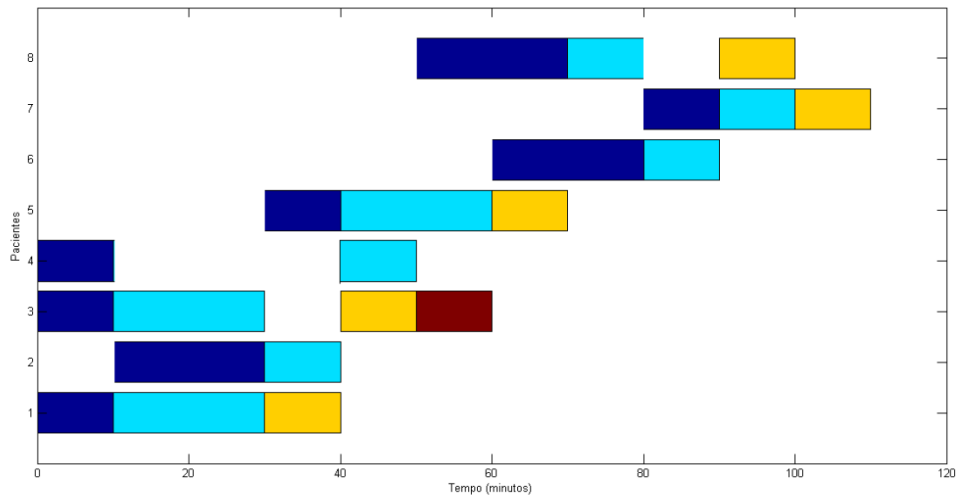


Figura 39: Figura 11 Tempo de resolução dos exames para os oito pacientes no caso de estudo 4 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Azul claro; 3º Exame – Amarelo; 4º Exame - Vermelho)

Como pode ser observado pela análise da Figura 39, o Paciente 1 demora 40 minutos a realizar os seus exames. O Paciente 2, ao fim de 10 minutos, realiza o seu primeiro exame e demora 30 minutos a fazer os dois exames que tem agendado, deixando os consultórios ao fim de 40 minutos. O Paciente 3 realiza os seus dois primeiros exames em 30 minutos e, após um tempo de espera de 10 minutos, realiza os dois últimos exames demorando assim, no total, 60 minutos a deixar os consultórios. O Paciente 4 realiza o seu primeiro exame em 10 minutos e depois de esperar 30 minutos, realiza o seu último exame. Assim, o Paciente 4 deixa os consultórios ao fim de 50 minutos. O Paciente 5 começa a fazer os exames ao fim de 30 minutos e demora 40 minutos a abandonar os consultórios, fazendo um total de 50 minutos até abandonar os consultórios. O Paciente 6, ao fim de 60 minutos, realiza os seus dois exames e abandona os consultórios ao fim de 90 minutos. O Paciente 7, após 80 minutos, realiza os seus três exames e demora 30 minutos para tal tarefa, fazendo um total de 110 minutos até abandonar os consultórios. O Paciente 8, passado 50 minutos, realiza os seus dois primeiros exames e, após um tempo de espera de 10 minutos, realiza o seu último exame perfazendo assim um total de 50 minutos dentro dos consultórios, abandonando estes após 100 minutos do início do escalonamento.

Na Figura 40 está representada a distribuição dos oito pacientes pelos três consultórios bem como o tempo de ocupação de cada consultório.

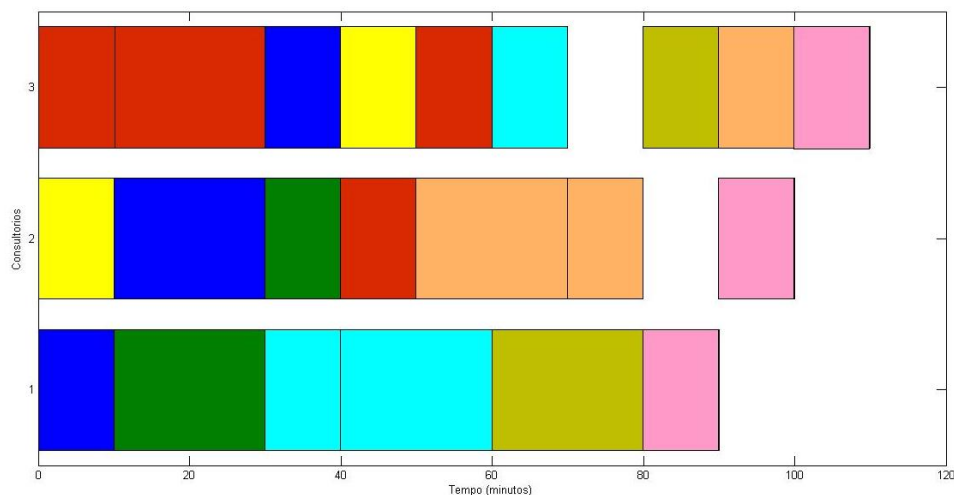


Figura 40: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 4 (Paciente 1 – Azul; Paciente 2 – Verde; Paciente 3 – Vermelho; Paciente 4 – Amarelo; Paciente 5 – Azul claro; Paciente 6 – Verde claro; Paciente 7 – Rosa; Paciente 8 - Bege)

Como pode ser possível observar pela Figura 40, o Consultório 1 fica livre ao fim de 90 minutos e não possui nenhum tempo livre entre a realização dos exames. No caso do Consultório 2, este fica disponível ao fim de 100 minutos, tendo um tempo livre de 10 minutos, dos 80 aos 90 minutos. Já o Consultório 3 é o último a ficar livre, ficando livre apenas ao fim de 110 minutos e também tem um tempo livre de 10 minutos, entre os 70 e os 80 minutos. O Paciente 1 realiza cada um dos seus três exames em cada um dos três consultórios. O Paciente 2 realiza o seu primeiro exame no Consultório 1 e, no fim deste, dirige-se ao Consultório 2 para realizar o seu último exame. O Paciente 3 realiza os seus dois primeiros exames no Consultório 3 e, após um tempo de espera de 10 minutos, dirige-se ao Consultório 2 onde realiza mais um exame e volta de novo ao Consultório 3 para realizar o seu último exame. O Paciente 4 realiza o seu primeiro exame no Consultório 2 e, após esperar 30 minutos, realiza o último exame no Consultório 3. O Paciente 5 realiza os dois primeiros exames no Consultório 1 e seguidamente dirige-se ao Consultório 3. No caso do Paciente 6, este realiza um exame no Consultório 1 e outro exame no Consultório 3. O Paciente 7 realiza cada um dos seus três exames em cada um dos três consultórios disponíveis. Por último, o Paciente 8 realiza dois dos seus três exames no Consultório 2 e, após um tempo de espera de 10 minutos, dirige-se ao Consultório 3 onde realiza um exame.

1.4.5. Caso de Estudo 5: Pacientes 31; Exames 24; Consultórios 4

A Figura 41 apresenta a distribuição dos exames dos pacientes no caso de estudo 5.

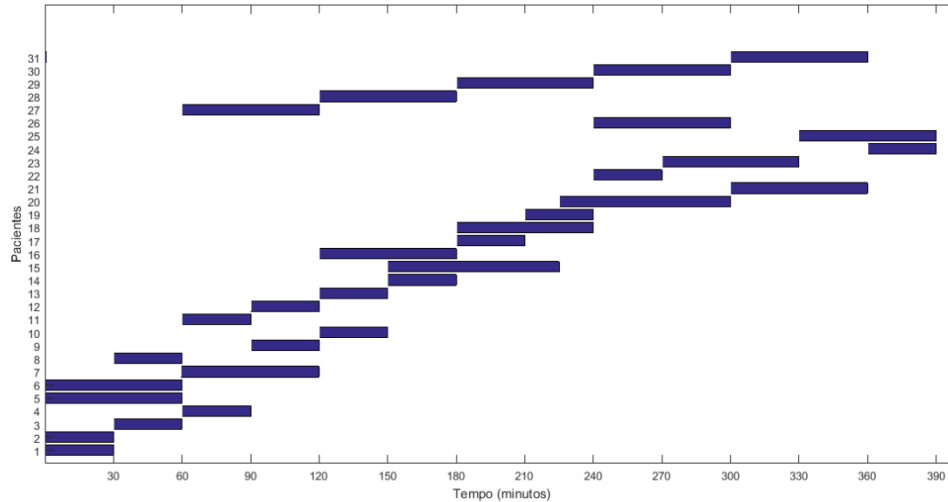


Figura 41: Tempo de resolução dos tratamentos para os trinta e um pacientes do caso de estudo 5

Pela distribuição pelo PSO no caso de estudo 5, os pacientes 1 e 2 ficam livre após passarem 30 minutos desde o início da resolução dos exames. Os pacientes 3, 5, 6 e 8 demoram 60 minutos a deixarem os consultórios. São dois os pacientes que demoram 90 a abandonarem os consultórios, sendo estes os pacientes 4 e 11. Já os pacientes 7, 9, 12 e 27 demoram 120 minutos a terminarem os seus tratamentos. Os pacientes 10 e 13 demoram 150 minutos a concluírem os seus tratamentos. Os pacientes 14, 16 e 28 demoram 180 minutos a terminarem os seus tratamentos. Apenas o Paciente 17 demora 210 minutos a terminar o seu tratamento, como também o Paciente 15 demora 225 minutos a abandonar o consultório. No caso dos pacientes 18, 19 e 29, são precisos 240 minutos para estes terminarem os seus tratamentos. O Paciente 22 leva 270 minutos a realizar o seu tratamento. Os pacientes 20, 26 e 30 demoram 300 minutos a deixarem os consultórios. O Paciente 23 demora 330 minutos a abandonar o consultório. Os pacientes 21 e 31 demoram 360 minutos e, por fim, os pacientes 24 e 25 demoram 390 minutos a concluir os seus tratamentos.

A Figura 42 representa a distribuição dos pacientes pelos quatro consultórios disponíveis.

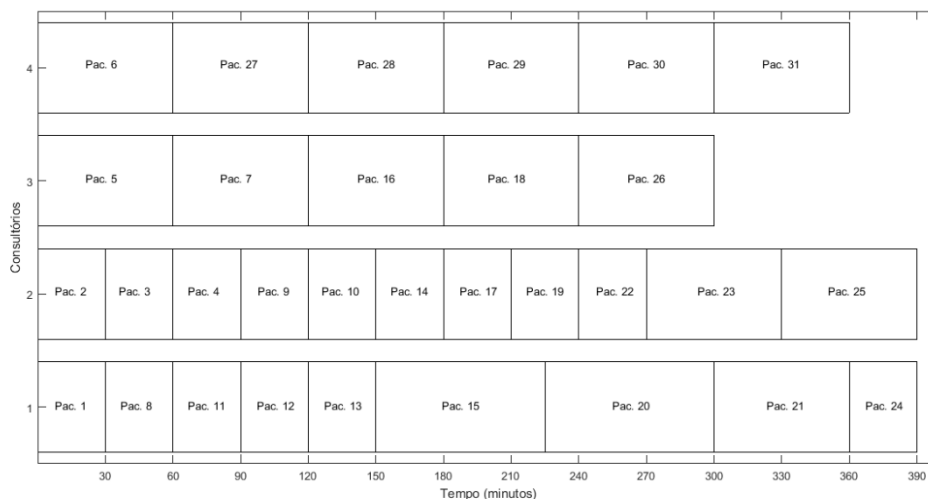


Figura 42: Distribuição dos pacientes pelos consultórios no caso de estudo 5

Como pode ser observado, os consultórios 1 e 2 ficam livres ao fim de 390 minutos. O Consultório 3 é o primeiro a ficar livre, isso acontece ao fim de 300 minutos. O Consultório 4 demora 360 minutos a ficar livre. Também com esta distribuição feita pelo PSO, não há espaços livres durante a resolução dos tratamentos dos pacientes.

1.4.6. Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal

Na Figura 43 pode ser observada a distribuição dos exames dos pacientes no primeiro dia do caso de estudo 6.

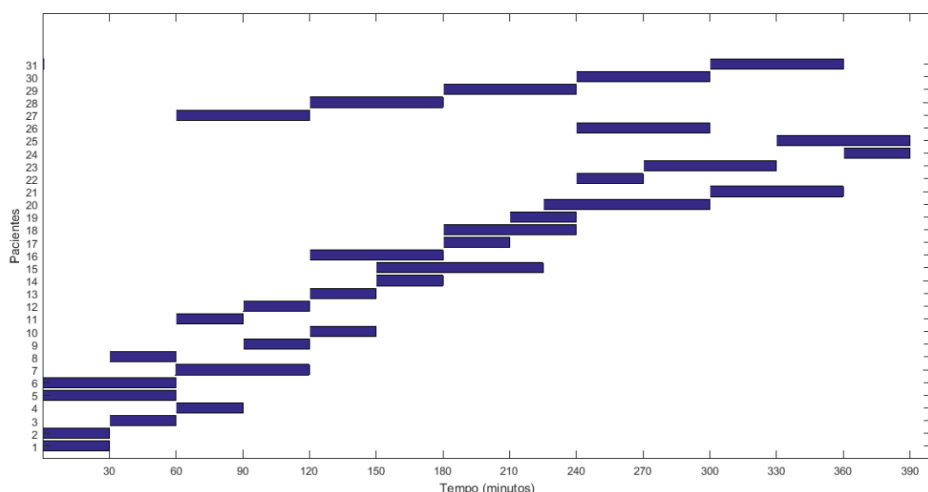


Figura 43: Tempo de resolução dos tratamentos para os trinta e um pacientes do primeiro dia do caso de estudo 6

A Figura 44 apresenta os resultados da distribuição no primeiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

Capítulo 4

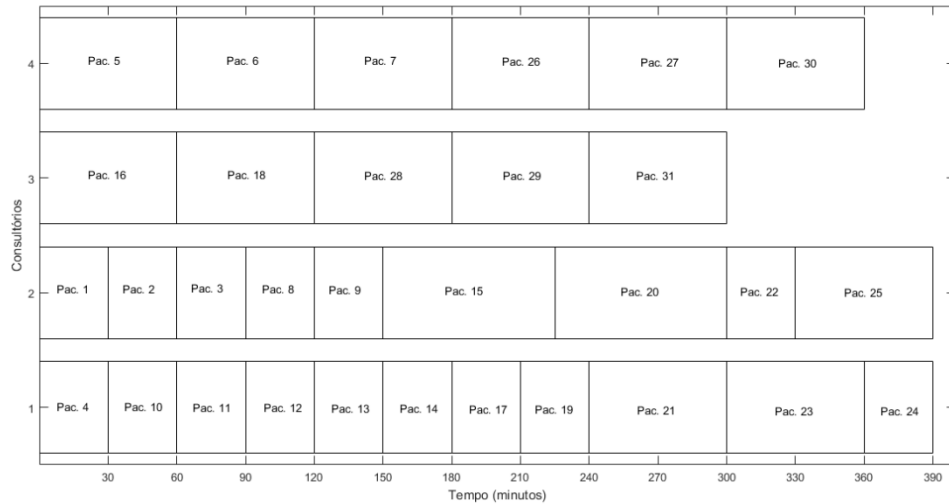


Figura 44: Distribuição dos 31 pacientes pelos consultórios no primeiro dia do caso de estudo 6

Como se pode reparar, os resultados para o primeiro dia do caso de estudo 6 são os mesmos que no caso de estudo do dia 5 pois os dados eram iguais, isto é, o mesmo número de pacientes com os mesmos tratamentos a serem realizados.

Na Figura 45 pode ser observada a distribuição dos exames dos pacientes no segundo dia do caso de estudo 6.

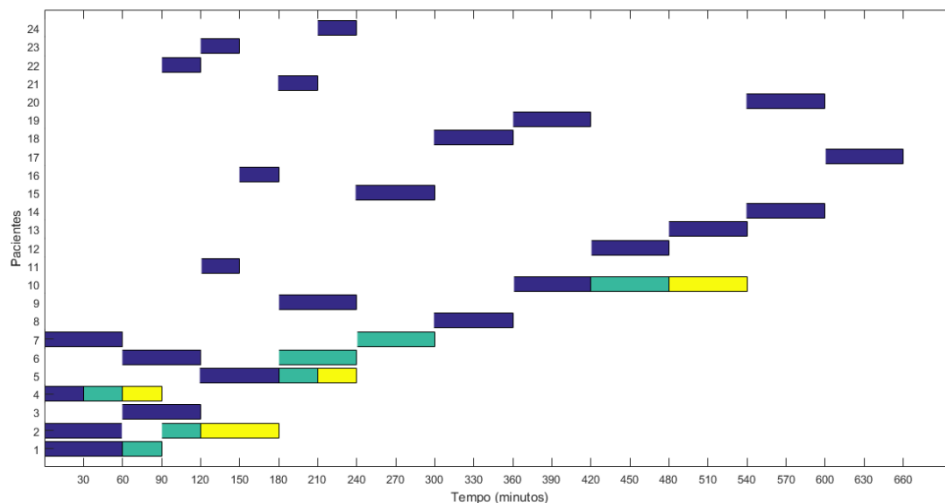


Figura 45: Tempo de resolução dos tratamentos para os 24 pacientes do segundo dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame – Amarelo)

Como pode ser visto na Figura 45, quando já passaram 90 minutos após o início da resolução dos tratamentos, os pacientes 1 e 4 abandonam os consultórios. Após 120 minutos, os pacientes 3 e 22 abandonam os consultórios. Os pacientes 11 e 23 abandonam os consultórios após 150

minutos. Os pacientes 2 e 16 abandonam os consultórios após 180 minutos, sendo que o Paciente 2, após a realização do seu primeiro tratamento, espera 30 minutos para que possa concluir os tratamentos que tem agendados. O Paciente 21 abandona o consultório ao passarem 210 minutos do início dos tratamentos. Os pacientes 5, 6, 9 e 24 deixam os consultórios após 240 minutos, sendo que o Paciente 6 tem um tempo de espera de 60 minutos entre os seus tratamentos. O Paciente 7, que tem um tempo de espera de 240 minutos entre os seus dois tratamentos, e o Paciente 15 abandonam os consultórios após 300 minutos. Os pacientes 8 e 18 têm apenas um tratamento de 60 minutos cada um para realizar e abandonam os consultórios após 360 minutos. O Paciente 19 é o único a abandonar os consultórios após 420 minutos e o Paciente 12 o único a abandonar ao fim de 480 minutos. Os pacientes 10 e 13 abandonam os seus consultórios ao fim de 540 minutos. Ao fim de 600 minutos, são dois os pacientes que abandonam os consultórios, sendo os pacientes 14 e 20. O último a abandonar os consultórios, ao fim de 660 minutos é o Paciente 17.

A Figura 46 apresenta os resultados da distribuição no segundo dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

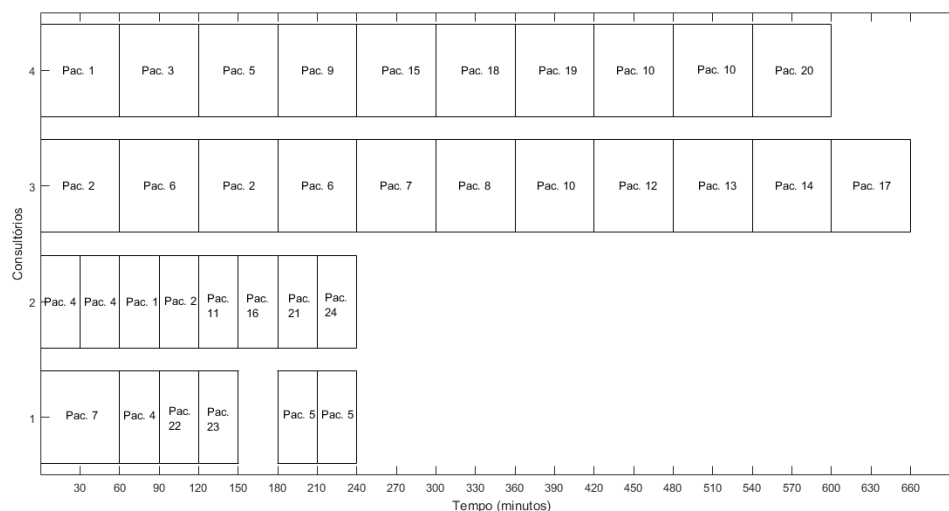


Figura 46: Distribuição dos 24 pacientes pelos consultórios no segundo dia do caso de estudo 6

Como pode ser observado na Figura 46, os consultórios 1 e 2 ficam livres simultaneamente, ao fim de 240 minutos, sendo que o Consultório 1 tem um tempo de espera de 30 minutos entre o Paciente 23 e o Paciente 5. Isto não acontece com nenhum dos outros consultórios. O Consultório 4 fica livre ao fim de 600 minutos e, por último, o Consultório 3 fica livre ao fim de 660 minutos.

Capítulo 4

Na Figura 47 pode ser observada a distribuição dos exames dos pacientes no terceiro dia do caso de estudo 6.

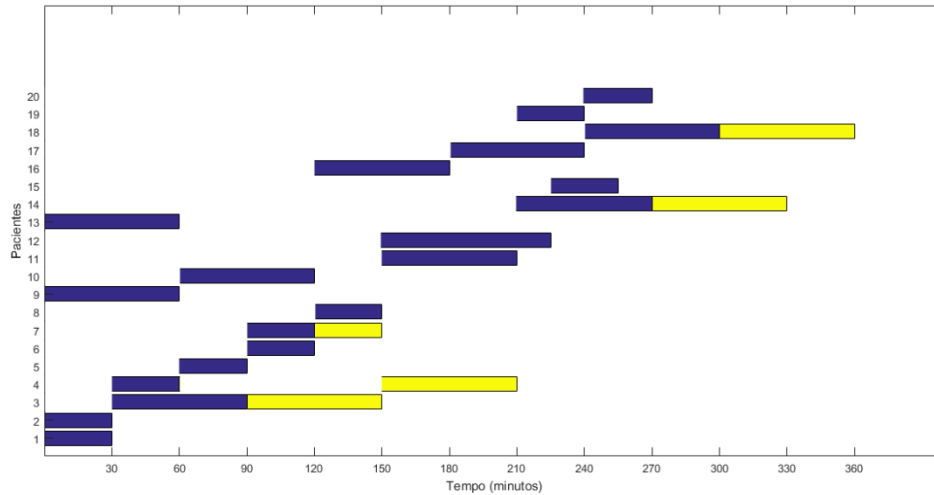


Figura 47: Tempo de resolução dos tratamentos para os 20 pacientes do terceiro dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Amarelo)

Pelos resultados observados na Figura 27, é de notar que os pacientes 1 e 2 abandonam os consultórios nos primeiros 30 minutos do escalonamento. O paciente 9 abandona os consultórios após 60 minutos. Apenas o Paciente 5 abandona o consultório após 90 minutos. Ao fim de 120 minutos, os pacientes 6 e 10 abandonam os consultórios. Os pacientes 3, 7 e 8 abandonam os consultórios ao fim de 150 minutos. O Paciente 16, após realizar o seu tratamento de 60 minutos, deixa os consultórios ao fim de 180 minutos. Os pacientes 4 e 11, tendo o Paciente 4 um tempo de espera de 90 minutos entre os seus dois tratamentos, abandonam os consultórios após 210 minutos. O Paciente 12 deixa os consultórios após 225 minutos. Os pacientes 17 e 19 deixam os consultórios quando já passaram 240 minutos do início do escalonamento. O Paciente 15 abandona os consultórios após 255 minutos. O Paciente 20 abandona os consultórios após 270 minutos e o Paciente 14 após 330. O último paciente a abandonar os consultórios é o Paciente 18, ao fim de 360 minutos.

A Figura 48 apresenta os resultados da distribuição no terceiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

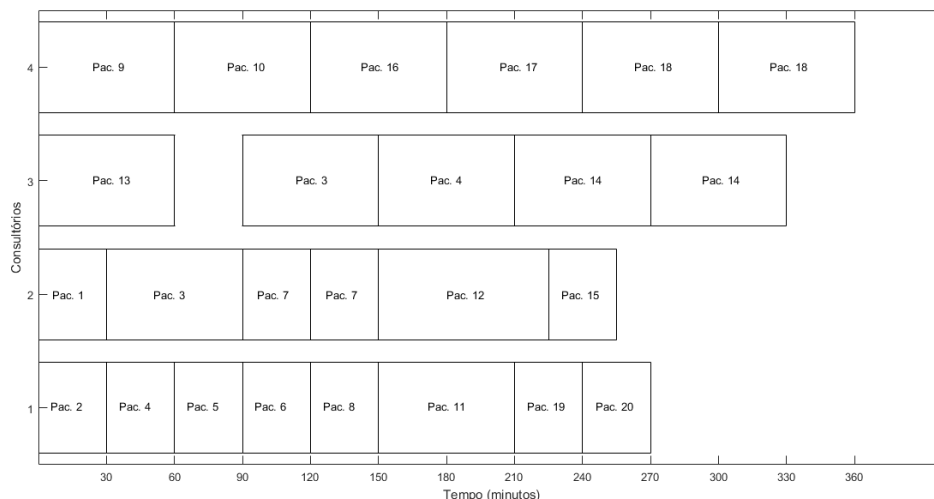


Figura 48: Distribuição dos 20 pacientes pelos consultórios no terceiro dia do caso de estudo 6

No caso do terceiro dia do caso de estudo 6, apenas o Consultório 3 apresenta um tempo de espera, de 30 minutos, entre o Paciente 13 e o Paciente 3. O primeiro consultório a ficar disponível é o Consultório 2, ao fim de 255 minutos, seguindo-se do Consultório 1 que fica disponível ao fim de 270 minutos. O Consultório 3 fica livre ao fim de 330 minutos e por último está o Consultório 4 que fica disponível apenas ao fim de 360 minutos.

Na Figura 49 pode ser observada a distribuição dos exames dos pacientes no quarto dia do caso de estudo 6.

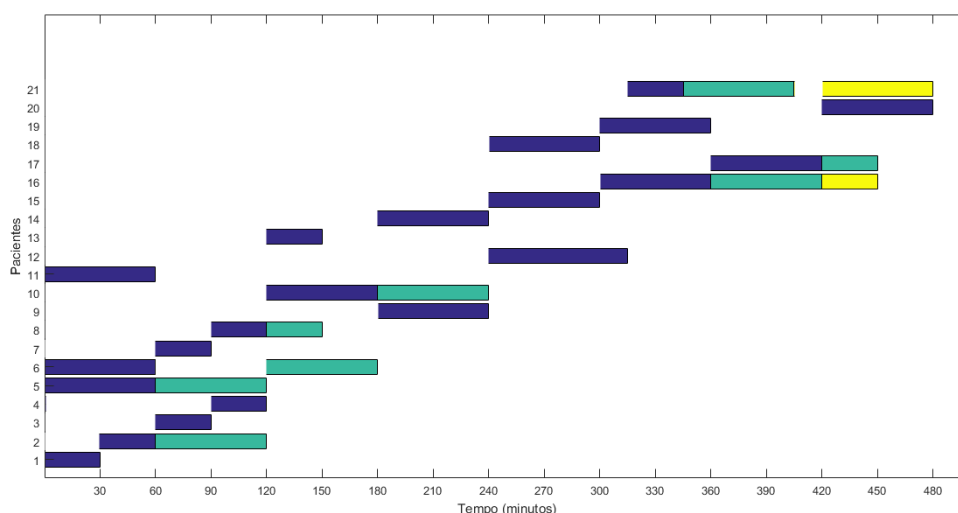


Figura 49: Tempo de resolução dos tratamentos para os 21 pacientes do quarto dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Verde; 3º Exame – Amarelo)

Como pode ser visto na Figura 49, o Paciente 1 é o primeiro a abandonar os consultórios, ao fim de 30 minutos e ao fim de 60 minutos, apenas o Paciente 11 deixa os consultórios. Os pacientes 3 e 7 deixam os consultórios ao fim de 90 minutos e os pacientes 2, 4 e 5 ao fim de

Capítulo 4

120 minutos. Ao fim de 150 minutos, os pacientes 8 e 13 estão a deixar os consultórios. O Paciente 6, tendo um tempo de espera de 60 minutos entre os seus dois exames, termina os seus dois tratamentos de 60 minutos cada um ao fim de 180 minutos. Os pacientes 9, 10 e 14 abandonam os consultórios após 240 minutos do início do escalonamento. Os pacientes 15 e 18, que apenas têm um tratamento cada um de 30 minutos a realizar, abandonam os consultórios ao fim de 300 minutos. O Paciente 12, que tem agendado um tratamento de 75 minutos, demora 315 minutos a abandonar os consultórios. O Paciente 19 é o único que abandona os consultórios no fim de 360 minutos. Os pacientes 16 e 17 terminam os seus tratamentos em simultâneo, sendo que abandonam os consultórios ao fim de 450 minutos. Os dois últimos pacientes a abandonar os consultórios são os pacientes 20 e 21 ao fim de 480 minutos, sendo que o Paciente 21 tem um tempo de espera de 15 minutos entre a resolução do segundo e do último tratamento.

A Figura 50 apresenta os resultados da distribuição no quarto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

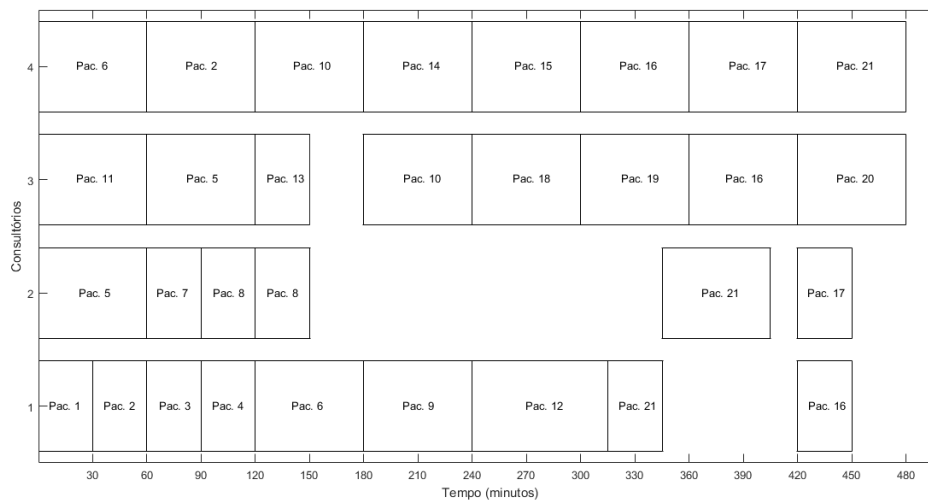


Figura 50: Distribuição dos 21 pacientes pelos consultórios no quarto dia do caso de estudo 6

No caso do escalonamento obtido para o quarto dia do caso de estudo 6, no que diz respeito aos consultórios, apenas o Consultório 4 não apresenta tempo livre entre os tratamentos lá realizados, sendo que o Consultório 1 apresenta um tempo de espera de 75 minutos entre o Paciente 21 e o Paciente 16, o Consultório 2 apresenta dois tempos de espera, um de 195 minutos entre os pacientes 8 e 21 e outro de 15 minutos entre os pacientes 21 e 17. O Consultório 3 apresenta um tempo de espera de 30 minutos entre os pacientes 13 e 10. Quanto

ao tempo de ocupação, os consultórios 1 e 2 ficam livre ao mesmo tempo, após 450 minutos enquanto que os consultórios 3 e 4 também ficam livres simultaneamente, após 480 minutos.

Na Figura 51 pode ser observada a distribuição dos exames dos pacientes no quinto dia do caso de estudo 6.

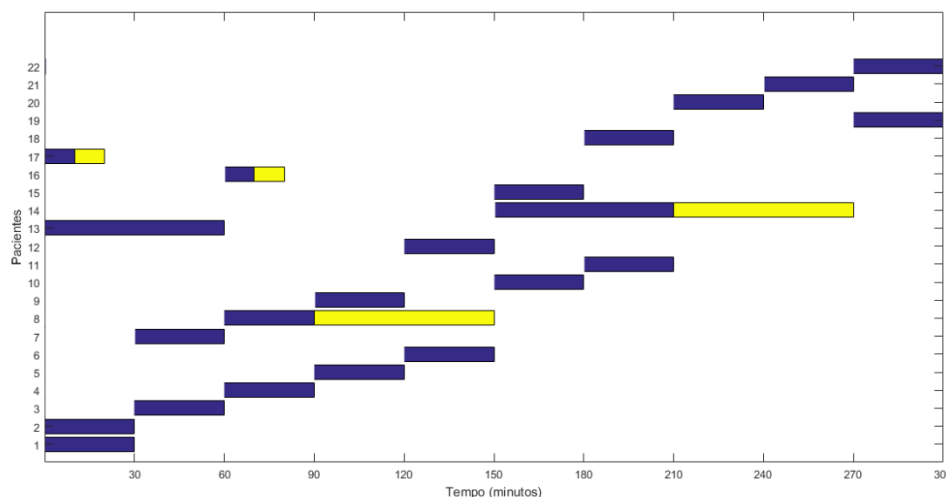


Figura 51: Tempo de resolução dos tratamentos para os 22 pacientes do quinto dia do caso de estudo 6 (1º Exame – Azul; 2º Exame – Amarelo)

Pelo que é possível observar na Figura 51, o Paciente 17 é o primeiro a abandonar aos consultórios, ao fim de 20 minutos, dado que faz logo os seus dois tratamentos de 10 minutos cada um. Ao fim de 30 minutos, já os pacientes 1 e 2 abandonaram os consultórios. Os pacientes 3, 7 e 13 abandonam os consultórios após 60 minutos. Ao fim de 80 minutos, o Paciente 16 abandona o consultório. O Paciente 4 abandona os consultórios ao fim de 90 minutos. Quando já se passaram 120 minutos do início do escalonamento, os pacientes 5 e 9 abandonam os consultórios. Os pacientes 6, 8 e 12 abandonam os consultórios após 150 minutos. Os pacientes 10 e 15 demoram 180 minutos a abandonar os consultórios. Os pacientes 11 e 18, após realizarem os seus tratamentos de 30 minutos, abandonam os consultórios após 210 minutos. O Paciente 20 realiza um tratamento de 30 minutos e abandona os consultórios após 240 minutos. Os pacientes 14 e 21 realizam os seus tratamentos e deixam os consultórios ao fim de 270 minutos. Por último e ao fim de 300 minutos, os pacientes 22 e 19 terminam os seus tratamentos de 30 minutos cada um.

A Figura 52 apresenta os resultados da distribuição no quinto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito à ocupação dos consultórios.

Capítulo 4

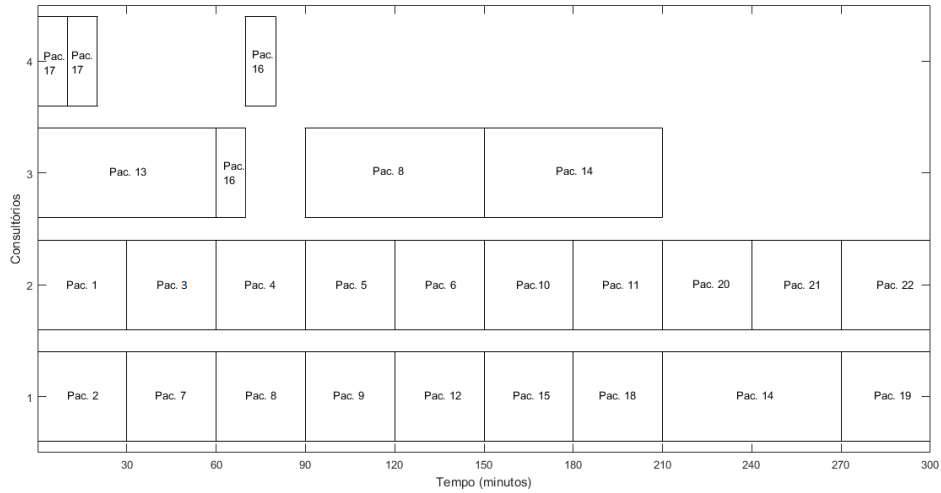


Figura 52: Distribuição dos 22 pacientes pelos consultórios no quinto dia do caso de estudo 6

Na distribuição dos 22 pacientes pelos consultórios do quinto dia do caso de estudo 6, é possível observar que os consultórios 3 e 4 possuem tempo de espera durante a realização dos tratamentos. O Consultório 4, que fica livre ao fim de 80 minutos, tem um intervalo de 50 minutos entre o Paciente 17 e o Paciente 16. Já o Consultório 3, que fica livre ao fim de 210 minutos, possui um compasso de espera de 20 minutos entre o Paciente 16 e o Paciente 8. Os consultórios 1 e 2, que não têm qualquer tempo de espera entre a resolução dos tratamentos, ficam livres simultaneamente, ao fim de 300 minutos.

Capítulo 5

1. Discussão de Resultados

Devido ao número de pacientes e ao tempo de execução dos exames, a discussão de resultados será analisada caso a caso, comparando os tempos obtidos nas diferentes implementações dos algoritmos.

1.1. Resultados do Caso de Estudo 1

A Tabela 9 faz a comparação do tempo, em minutos, que cada paciente demora a realizar cada exame, no caso de estudo 1, onde apenas estão envolvidos quatro pacientes.

Tabela 9: Comparação dos resultados do caso de estudo 1 com quatro pacientes no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames (minutos)

	1^a Distribuição	2^a Distribuição	AG	AG MATLAB	PSO
Paciente 1	40	30	30	30	30
Paciente 2	20	30	40	30	40
Paciente 3	50	60	50	70	60
Paciente 4	80	80	70	90	70

Para que seja possível retirar uma conclusão de qual o melhor algoritmo a utilizar, é necessário utilizar o tempo máximo de cada algoritmo já que o Paciente 1 apresenta os melhores resultados com a 2^a Distribuição que foi feita manualmente, com o AG, com o AG do MATLAB e com o PSO. No caso do Paciente 2, este apresenta melhores resultados com a 1^a Distribuição feita manualmente. Para o Paciente 3, os melhores resultados são obtidos quando é feita a 1^a Distribuição e com a utilização do AG. Já o Paciente 4 apresenta melhores resultados com a utilização do PSO e do AG. No entanto, o tempo máximo de resolução dos exames na 1^a distribuição e da 2^a distribuição é de 80 minutos e no caso da utilização do AG do MATLAB é de 90 minutos, o que leva a que estas três opções de resolução do problema não sejam as melhores pois o tempo máximo de resolução dos exames no caso dos resultados da utilização

do AG e do PSO é de 70 minutos em ambos os casos. Assim, estes dois algoritmos apresentam os melhores resultados.

A Tabela 10 apresenta a comparação dos resultados obtidos para o caso de estudo 1, mostrando após quanto tempo os consultórios ficam disponíveis.

Tabela 10: Comparação dos resultados do caso de estudo 1 com quatro pacientes no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)

	1^a Distribuição	2^a Distribuição	AG	AG MATLAB	PSO
Consultório 1	70	50	50	90	50
Consultório 2	80	80	70	70	70

Analisando cada consultório separadamente, o Consultório 1 apresenta melhores resultados nos resultados da 2^a distribuição, do AG e do PSO, já o Consultório 2 apresenta os melhores tempos quando são utilizados o AG, o AG do MATLAB e o PSO. Mais uma vez é necessário observar o tempo máximo de ocupação dos consultórios. Para os resultados do AG do MATLAB, o tempo máximo de ocupação dos consultórios é de 90 minutos. No caso da 1^a e da 2^a distribuição, o tempo máximo de ocupação dos consultórios é de 80 minutos o que faz com que os melhores resultados sejam obtidos com a utilização do AG e do PSO, já que o tempo que os consultórios levam para ficar disponíveis é de 70 minutos.

1.2. Resultados do Caso de Estudo 2

A Tabela 11 faz a comparação do tempo, em minutos, que cada paciente demora a realizar cada exame, no caso de estudo 2, onde apenas estão envolvidos oito pacientes. Para o caso de estudo 2, o AG disponível no MATLAB não apresentou resultados.

Tabela 11: Comparação dos resultados do caso de estudo 2 com oito pacientes no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames (minutos)

	1ª Distribuição	2ª Distribuição	AG	PSO
Paciente 1	30	40	40	40
Paciente 2	30	20	20	20
Paciente 3	60	70	70	70
Paciente 4	40	50	20	50
Paciente 5	70	80	80	80
Paciente 6	80	20	50	20
Paciente 7	100	100	90	90
Paciente 8	90	60	60	60

No caso dos pacientes 1, 3 e 5, estes apresentam um menor tempo para a resolução dos seus exames quando é feita a 1ª Distribuição. Para o Paciente 2 e para o Paciente 8, os melhores resultados são obtidos pela 2ª Distribuição, pelo AG e pelo PSO. O Paciente 4 apresenta o menor tempo de resolução dos seus exames quando é aplicado o AG. O Paciente 6 apresenta melhores resultados com a 2ª Distribuição e com o PSO e, por fim, o Paciente 7 apresenta menor tempo para a realização dos seus exames quando é utilizado o AG e o PSO. Assim, é necessário novamente fazer uma avaliação geral. Quer para a 1ª e 2ª Distribuição, o tempo máximo de resolução dos exames de um paciente é de 100 minutos, o que faz com que este não seja o melhor método para distribuir os pacientes pois, quer o AG quer o PSO, apresentam um tempo máximo de 90 minutos para a resolução dos exames de um paciente.

A Tabela 12 faz a comparação dos resultados para o caso de estudo 2, mostrando após quanto tempo os consultórios ficam disponíveis.

Tabela 12: Comparação dos resultados do caso de estudo 2 com oito pacientes no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)

	1ª Distribuição	2ª Distribuição	AG	PSO
Consultório 1	80	80	60	60
Consultório 2	90	90	80	80
Consultório 3	100	100	90	90

No caso dos consultórios disponíveis, é de notar que os melhores resultados são obtidos através do AG e do PSO, quer analisando individualmente, quer analisando o tempo geral.

1.3. Resultados do Caso de Estudo 3

A Tabela 13 faz a comparação do tempo, em minutos, que cada paciente demora a realizar cada exame no caso de estudo 3.

Tabela 13: Tempo que cada paciente demora a realizar cada exame no caso de estudo 3 com os diferentes algoritmos (minutos)

	AG	AG MATLAB	PSO
Paciente 1	40	40	40
Paciente 2	30	30	30
Paciente 3	70	70	70
Paciente 4	80	90	80

Pela análise da tabela 13, os resultados obtidos com a utilização do AG e com a utilização do PSO são idênticos, não podendo ser afirmado qual o melhor algoritmo para este caso já que ambos apresentam bons e iguais resultados. No entanto, e apesar de essa diferença só ser notada no tempo de um paciente, o Paciente 4, o AG disponível no MATLAB acrescenta mais 10 minutos ao tempo de resolução dos exames deste paciente, o que faz com que este não seja o algoritmo que apresenta os melhores resultados.

Na tabela 14, serão comparados os resultados do tempo que cada consultório demora a ficar livre, no caso de estudo 3.

Tabela 14: Tempo que cada consultório demora a ficar livre no caso de estudo 3 (minutos)

	AG	AG MATLAB	PSO
Consultório 1	70	90	70
Consultório 2	80	70	80

No que diz respeito à análise do tempo que cada consultório de modo a ficar livre, o caso é diferente. Comparando exclusivamente o caso do Consultório 1, este demora mais tempo a ficar livre quando é utilizado o AG disponível no MATLAB, sendo que os tempos na utilização do AG e do PSO são iguais. No entanto, quando é observado o caso do Consultório 2, o algoritmo que apresenta um menor tempo de ocupação é o AG do MATLAB, sendo que os dois restantes algoritmos apresentam mais 10 minutos de ocupação no Consultório 2. Então, para que seja possível tirar uma conclusão de qual o melhor algoritmo para a resolução deste caso, é necessário pensar no geral, isto é, com a utilização do AG e do PSO, o tempo máximo de ocupação dos consultórios é de 80 minutos, já com a utilização do AG do MATLAB, o tempo máximo de ocupação dos consultórios é de 90 minutos. Assim, os algoritmos mais indicados para a resolução deste caso seriam o AG e o PSO.

1.4. Resultados do Caso de Estudo 4

Na Tabela 15 pode ser feita a comparação dos resultados no que diz respeito a quanto tempo, em minutos, cada paciente demora a realizar os seus exames, no caso de estudo 4. Também neste caso de estudo, o AG disponível no MATLAB não apresentou resultados.

Tabela 15: Tempo que cada paciente demora a realizar os seus exames no caso de estudo 4 (minutos)

	AG	PSO
Paciente 1	40	40
Paciente 2	40	40
Paciente 3	80	60
Paciente 4	50	50
Paciente 5	60	70
Paciente 6	70	90
Paciente 7	90	110
Paciente 8	110	100

Como já tinha sido referido anteriormente no Capítulo 4, onde são apresentados os resultados de cada caso com os diferentes algoritmos, o AG do MATLAB não apresentou soluções para o Caso 4. Assim sendo, comparando os dois restantes algoritmos, podemos observar que no caso dos pacientes 1, 2 e 4 ambos apresentam o mesmo tempo para a realização dos exames. No caso dos pacientes 5, 6, e 7, estes apresentam um menor tempo de resolução dos exames quando é aplicado o AG; já os pacientes 3 e 8 apresentam melhores tempos de resolução dos exames quando é utilizado o PSO. Se for analisado o tempo máximo de resolução dos exames quando utilizado o AG, verifica-se que este é de 110 minutos, que é exatamente o mesmo tempo máximo no caso da utilização do PSO. Assim, não se pode dizer que haja um que seja melhor que outro. Teria que ser analisada a distribuição dos pacientes e decidir qual a mais vantajosa utilizando, por exemplo, o critério do tempo de espera que por vezes há entre os pacientes para que fosse decidido qual o melhor algoritmo utilizar. Neste caso, ambos apresentam resultados satisfatórios.

A Tabela 16 apresenta a comparação do tempo que cada consultório demora a ficar livre no caso de estudo 4, com recurso, mais uma vez, aos três algoritmos.

Tabela 16: Tempo que cada consultório demora a ficar livre no caso de estudo 4 (minutos)

	AG	PSO
Consultório 1	90	90
Consultório 2	100	100
Consultório 3	110	110

Como o AG do MATLAB não apresentou resultados para o caso de estudo 4, serão apenas comparados os resultados obtidos pela utilização do AG e do PSO. Pela análise da Tabela 13, é possível observar que o tempo que cada consultório demora a ficar livre é igual utilizando os dois algoritmos. Mais uma vez, não seria pelo tempo de ocupação que se escolheria o melhor método para aplicar ao Caso 4 pois os dois algoritmos apresentam resultados iguais. Seria necessário observar, mais uma vez a disposição dos pacientes, e ver, por exemplo, qual a distribuição que favoreceria a logística da clinica ou hospital em questão.

1.5. Resultados do Caso de Estudo 5

A Tabela 17 faz a comparação do tempo, em minutos, que cada paciente demora a realizar cada tratamento no caso de estudo 5 e, mais uma vez, não foram encontrados resultados para este com a utilização do AG do MATLAB.

Tabela 17: Comparação dos resultados do caso de estudo 5 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos trinta e um pacientes (minutos)

	AG	PSO
Paciente 1	30	30
Paciente 2	60	30
Paciente 3	90	60
Paciente 4	30	90
Paciente 5	60	60
Paciente 6	120	60
Paciente 7	180	120

Capítulo 5

Paciente 8	120	60
Paciente 9	150	120
Paciente 10	60	150
Paciente 11	90	90
Paciente 12	120	120
Paciente 13	150	150
Paciente 14	180	180
Paciente 15	225	225
Paciente 16	60	180
Paciente 17	210	210
Paciente 18	120	240
Paciente 19	240	240
Paciente 20	300	300
Paciente 21	300	360
Paciente 22	330	270
Paciente 23	360	330
Paciente 24	390	390
Paciente 25	390	390
Paciente 26	240	300
Paciente 27	300	120
Paciente 28	180	180
Paciente 29	240	240
Paciente 30	360	300
Paciente 31	300	360

Pela análise da Tabela 17, pode ser observado que sete pacientes apresentam melhores resultados quando é utilizado o AG, já 10 pacientes apresentam melhores tempos de resolução dos seus tratamentos quando é utilizado o PSO e 14 pacientes apresentam os mesmos resultados usando cada um dos algoritmos. Assim sendo, não pode ser dito que existe o um algoritmo que seja o mais aconselhado para o caso já que, em ambos os resultados, o tempo máximo de resolução dos tratamentos é de 390 minutos.

A Tabela 18 apresenta os resultados do caso de estudo 5 no que diz respeito ao tempo total de ocupação dos consultórios.

Tabela 18: Comparação dos resultados do caso de estudo 5 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)

	AG	PSO
Consultório 1	390	390
Consultório 2	390	390
Consultório 3	300	300
Consultório 4	360	360

Mais uma vez, não há um algoritmo que seja melhor para a resolução deste caso pois os quatro consultórios levam o mesmo tempo a ficarem livres nos dois algoritmos.

1.6. Resultados do Caso de Estudo 6: Escalonamento Semanal

Na Tabela 1 do Anexo A é possível verificar a comparação do tempo, em minutos, que cada paciente demora a realizar cada tratamento no primeiro dia do caso de estudo 6. Pela análise da mesma tabela, pode ser observado que sete pacientes apresentam melhores resultados quando é utilizado o AG, 10 pacientes apresentam melhores tempos de resolução dos seus tratamentos quando é utilizado o PSO e 14 pacientes apresentam os mesmos resultados usando cada um dos algoritmos. Assim sendo, não pode ser dito que existe um algoritmo que seja o mais aconselhado para o caso já que, em ambos os resultados, o tempo máximo de resolução dos tratamentos é de 390 minutos.

Capítulo 5

A Tabela 2 do Anexo A apresenta os resultados do primeiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo total de ocupação dos consultórios e mais uma vez, não há um algoritmo que seja melhor para a resolução deste caso pois os quatro consultórios levam o mesmo tempo a ficarem livres nos dois algoritmos.

A Tabela 19 faz a comparação do tempo, em minutos, que cada paciente demora a realizar cada tratamento no segundo dia do caso de estudo 6.

Em nenhum dos cinco dias deste caso de estudo o AG do MATLAB foi capaz de encontrar resultados.

Tabela 19: Comparação dos resultados do segundo dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos 24 pacientes (minutos)

	AG	PSO
Paciente 1	90	90
Paciente 2	180	180
Paciente 3	120	120
Paciente 4	150	90
Paciente 5	210	240
Paciente 6	300	240
Paciente 7	300	300
Paciente 8	180	360
Paciente 9	360	240
Paciente 10	540	540
Paciente 11	120	150
Paciente 12	480	480
Paciente 13	540	540
Paciente 14	600	600
Paciente 15	240	300

Paciente 16	150	180
Paciente 17	360	660
Paciente 18	420	360
Paciente 19	600	420
Paciente 20	660	600
Paciente 21	30	210
Paciente 22	180	120
Paciente 23	210	150
Paciente 24	240	240

Se analisarmos os tempos individualmente, sete pacientes apresentam melhores tempos quando é utilizado o AG, oito pacientes têm melhores tempos com recurso ao PSO e os restantes nove pacientes têm tempos iguais com os dois algoritmos. No entanto, em termos gerais, o último paciente abandona os consultórios após 660 minutos na utilização dos dois algoritmos. Assim, os dois algoritmos apresentam uma boa solução para o problema mas nenhum se sobressai já que o tempo final é o mesmo nos dois.

A Tabela 20 apresenta os resultados do segundo dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo total de ocupação dos consultórios.

Tabela 20: Comparação dos resultados do segundo dia caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)

	AG	PSO
Consultório 1	210	240
Consultório 2	240	240
Consultório 3	600	660
Consultório 4	660	600

Capítulo 5

Tal como já se tinha observado na análise individual de cada paciente, dois consultórios apresentam melhores resultados com o AG, apenas um apresenta melhor resultado com o PSO e num consultório o tempo máximo de ocupação deste é o mesmo com os dois algoritmos. No geral, o tempo máximo de ocupação dos quatro consultórios é de 660 minutos, quer utilizando o AG ou o PSO.

A Tabela 21 faz a comparação do tempo, em minutos, que cada paciente demora a realizar cada tratamento no terceiro dia do caso de estudo 6.

Tabela 21: Comparação dos resultados do terceiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos 20 pacientes (minutos)

	AG	PSO
Paciente 1	30	30
Paciente 2	60	30
Paciente 3	120	150
Paciente 4	180	210
Paciente 5	120	90
Paciente 6	150	120
Paciente 7	210	150
Paciente 8	90	150
Paciente 9	60	60
Paciente 10	120	120
Paciente 11	150	210
Paciente 12	255	225
Paciente 13	180	60
Paciente 14	300	330
Paciente 15	180	255
Paciente 16	60	180

Paciente 17	300	240
Paciente 18	360	360
Paciente 19	240	240
Paciente 20	270	270

Mais uma vez, se analisarmos individualmente os resultados, em sete pacientes o AG apresenta melhores resultados, seis pacientes apresentam melhores tempos de resolução dos tratamentos quando é utilizado o PSO e sete pacientes apresentam tempos iguais com os dois algoritmos. Como já tinha acontecido anteriormente, o tempo máximo de resolução dos tratamentos de todos os pacientes é igual quando utilizados os dois algoritmos, sendo esse tempo de 360 minutos.

A Tabela 22 apresenta os resultados do terceiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo total de ocupação dos consultórios.

Tabela 22: Comparação dos resultados do terceiro dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)

	AG	PSO
Consultório 1	270	270
Consultório 2	255	255
Consultório 3	300	330
Consultório 4	360	360

Para os resultados do terceiro dia do caso de estudo 6, analisando individualmente cada consultório, três consultórios apresentam os mesmos resultados com os dois algoritmos, sendo que apenas um consultório apresenta melhores resultados com o AG. No geral, o tempo máximo de ocupação dos consultórios é igual nos dois casos, sendo esse tempo de 360 minutos.

A Tabela 23 faz a comparação do tempo, em minutos, que cada paciente demora a realizar cada tratamento no quarto dia do caso de estudo 6.

Tabela 23: Comparação dos resultados do quarto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos 21 pacientes (minutos)

	AG	PSO
Paciente 1	30	30
Paciente 2	90	120
Paciente 3	60	90
Paciente 4	90	120
Paciente 5	150	120
Paciente 6	150	180
Paciente 7	180	90
Paciente 8	150	150
Paciente 9	240	240
Paciente 10	210	240
Paciente 11	180	60
Paciente 12	315	315
Paciente 13	30	150
Paciente 14	240	240
Paciente 15	270	300
Paciente 16	390	450
Paciente 17	360	450
Paciente 18	420	300
Paciente 19	390	360
Paciente 20	450	480
Paciente 21	480	480

Para o quarto dia do caso de estudo 6, os melhores resultados de 10 pacientes são obtidos a partir da implementação do AG, cinco pacientes apresentam melhores tempos de resolução dos seus tratamentos com o PSO e seis pacientes apresentam os mesmos resultados com os dois algoritmos. Também o tempo máximo de execução dos tratamentos é igual com os dois algoritmos, sendo esse tempo de 480 minutos.

A Tabela 24 apresenta os resultados do quarto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo total de ocupação dos consultórios.

Tabela 24: Comparação dos resultados do quarto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)

	AG	PSO
Consultório 1	390	450
Consultório 2	405	450
Consultório 3	480	480
Consultório 4	450	480

Segundo os dados obtidos para o quarto dia do caso de estudo 6 e que podem ser observados na Tabela 28, são três os consultórios que obtêm individualmente melhores resultados com o AG e o restante obtêm igual resultado com os dois algoritmos. Mais uma vez, em termos gerais, o tempo máximo de resolução dos tratamentos nos dois consultórios é o mesmo, 480 minutos, quer utilizando o AG, quer utilizando o PSO.

A Tabela 25 faz a comparação do tempo, em minutos, que cada paciente demora a realizar cada tratamento no quinto dia do caso de estudo 6.

Tabela 25: Comparação dos resultados do quinto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de resolução dos exames dos 22 pacientes (minutos)

	AG	PSO
Paciente 1	30	30
Paciente 2	60	30
Paciente 3	90	60
Paciente 4	120	90
Paciente 5	30	120
Paciente 6	150	150
Paciente 7	60	60
Paciente 8	150	150
Paciente 9	180	120
Paciente 10	120	180
Paciente 11	150	210
Paciente 12	180	150
Paciente 13	60	60
Paciente 14	270	270
Paciente 15	210	180
Paciente 16	70	80
Paciente 17	30	20
Paciente 18	240	210
Paciente 19	270	300
Paciente 20	210	240
Paciente 21	300	270
Paciente 22	300	300

Pela análise da Tabela 25, pode ser concluído que, individualmente, nove pacientes têm melhores resultados utilizando o PSO, seis pacientes têm um melhor tempo de resolução dos tratamentos utilizando o AG e os restantes seis obtêm tempos iguais com os dois algoritmos. Mais uma vez, o tempo máximo de resolução dos tratamentos é o mesmo com os dois algoritmos, não havendo assim um que se destaque dos outros.

A Tabela 26 apresenta os resultados do quinto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo total de ocupação dos consultórios.

Tabela 26: Comparação dos resultados do quinto dia do caso de estudo 6 no que diz respeito ao tempo de ocupação dos consultórios (minutos)

	AG	PSO
Consultório 1	300	300
Consultório 2	300	300
Consultório 3	210	210
Consultório 4	30	80

Analisando individualmente os resultados do escalonamento dos consultórios para o quinto dia do caso de estudo 6, pode ser observado que apenas um consultório apresenta melhores resultados quando utilizado o AG, sendo que os restantes três apresentam tempos iguais de resolução dos tratamentos com os dois algoritmos. No entanto, o tempo máximo de ocupação dos consultórios é igual com os dois algoritmos.

É então de notar que os dois algoritmos desenvolvidos durante este trabalho com base no AG e no PSO apresentaram solução viáveis para todos os casos de estudo analisados, fossem eles mais ou menos complexos. Como foi possível observar, o AG que se encontra disponível no MATLAB não é o mais indicado para resolver problemas de escalonamento mais complexos pois apenas apresentou resultados nos casos em que haviam menos pacientes, exames/tratamentos e consultórios envolvidos.

Entre o algoritmo baseado no AG e o algoritmo baseado no PSO não há um que seja melhor, isto é, se forem analisados individualmente os pacientes e os consultórios, alguns apresentam melhores resultados com o AG outros com o PSO mas o tempo geral do escalonamento é sempre o mesmo nos dois algoritmos. Para que fosse possível escolher entre a utilização de um

Capítulo 5

ou de outro, seria necessário analisar o escalonamento dos consultórios e talvez escolher aquele que não permitisse tempos de espera muito grandes ou, se fosse possível, aquele que não tivesse nenhum tempo de espera durante os escalonamentos dos exames/tratamentos.

Capítulo 6

1. Conclusões e trabalho futuro

Os problemas de otimização e de escalonamento estão cada vez mais presentes nos vários ramos da ciência e da engenharia e é de notar o progresso significativo no campo da inteligência coletiva e da computação evolutiva nos últimos anos.

Como pode ser observado, o Algoritmo Genético e o *Particle Swarm Optimization* têm vindo a ser cada vez mais utilizados para a resolução de problemas complexos, apresentando muitas das vezes diferentes soluções de escalonamento para o mesmo problema no que diz respeito à distribuição dos pacientes, mas com tempos máximos de escalonamentos quase sempre iguais. Estes dois algoritmos, sendo o AG mais direcionado à programação dita evolutiva e o PSO mais direcionado à otimização social, são conceptualmente parecidos: o ajustamento que é feito para obter o pbest e o gbest é similar à operação de cruzamento e os dois algoritmos utilizam o conceito de *fitness*/aptidão.

Mesmo sendo estes dois algoritmos bastante poderosos na resolução de problemas de otimização, não quer dizer que sejam sempre os mais indicados para resolver os problemas, podendo muitas vezes apresentar apenas bons resultados e não a solução ótima. É preciso avaliar a complexidade do problema e ver se é necessário a utilização de algoritmos tão complexos pois, muitas das vezes, quando o problema é de menor complexidade, os métodos mais básicos de otimização são aqueles que melhor se adequam ao problema.

Durante a realização deste trabalho, foram implementados dois algoritmos desenvolvidos e foi ainda utilizado o AG disponível no MATLAB, sempre com recurso à utilização desse *software*. Foi também realizada uma distribuição feita manualmente para que fosse possível compará-la aos métodos computacionais e para que também fosse possível mostrar que fazer o escalonamento com recurso a métodos manuais demoraria mais tempo e que, em casos mais complicados, seria mais difícil de ordenar tantos pacientes com vários tratamentos e em diferentes consultórios. Quanto ao AG disponível no MATLAB, este apresentou resultados para apenas dois casos de estudo, o caso de estudo 1 e o caso de estudo 3, e, para os restantes casos de estudo, quando estes envolviam mais pacientes e mais tratamentos, esta técnica não encontrava nenhuma solução, mesmo após serem feitas várias iterações. Assim, pode ser concluído que quando há uma maior complexidade do problema, o AG disponível no MATLAB não é capaz de apresentar nenhuma solução.

Um dos objetivos iniciais deste trabalho era desenvolver um algoritmo baseado no AG para que fosse possível fazer o escalonamento dos diversos casos de estudo. Assim, o AG que foi desenvolvido durante este trabalho, após a sua implementação no MATLAB, ofereceu soluções admissíveis para os diferentes casos de estudo, fossem eles mais simples ou mais complexos. Tal como aconteceu com o AG, havia também o objetivo de desenvolver um algoritmo baseado no PSO, algoritmo este que também ofereceu boas soluções nos mais variados casos de estudo.

Comparando os três algoritmos utilizados, o AG que está disponível no MATLAB mostra ser o mais fraco pois, apesar de ter resolvido os casos de estudo mais simples, quando a dificuldade aumenta, este não consegue encontrar forma de realizar o escalonamento. No caso do AG e do PSO desenvolvidos ao longo deste trabalho, ambos apresentaram soluções possíveis para todos os casos de estudo. No entanto, não poderá ser dito que um é melhor do que o outro para este tipo de problemas de escalonamento. Em todos os casos de estudo, por muito que os pacientes apresentassem individualmente diferentes resultados nos dois algoritmos, por exemplo, o Paciente 1 demorava 20 minutos a realizar os seus exames/tratamentos com o AG mas demorava 30 minutos a realizar os mesmos com o PSO, se os resultados forem analisados no geral, o tempo máximo apresentado por estes algoritmos, ou seja, o tempo do último paciente a ser atendido, era sempre igual. Um motivo de escolha entre os dois algoritmos poderia ser a forma como os pacientes eram organizados. Já que o tempo final era o mesmo com os dois algoritmos, teria que ser analisado a forma como o escalonamento foi feito e ver qual das formas seria mais vantajosa para o estabelecimento de saúde, vendo assim qual o algoritmo que, por exemplo, possuía menos tempo de espera de cada paciente ou então qual dos algoritmos organizava os exames/tratamentos de modo a que não houvesse tempo livre nos consultórios.

Por muito que os objetivos tenham sido atingidos e os resultados terem sido bastante satisfatórios, futuramente, há alguns aspetos que podem ser melhorados para que o escalonamento de exames/tratamentos em ambiente hospitalar possa ser ainda melhor. Uma primeira modificação que deveria ser feita ao algoritmo seria fazer com que esse atualizasse o escalonamento em tempo real, ou seja, neste trabalho, há já uma marcação prévia dos pacientes e dos exames/tratamentos que estes têm a realizar. Assim, seria agradável modificar o algoritmo de modo a que este aceitasse dados a meio da sua execução e fosse capaz de continuar a fazer o escalonamento.

Capítulo 7

1. Referências Bibliográficas

- [1] J. Nocedal e S. J. Wright, *Numerical Optimization*, USA: Springer, 1999.
- [2] S. S. Rao, *Engineering Optimization: Theory and Practice*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [3] S. P. Saramago, “Técnicas Heurísticas de Otimização Aplicadas em Engenharia,” *Horizonte Científico*, vol. 3, 2009.
- [4] M. Mitchell , “L.D. Davis, Handbook of Genetic Algorithms,” *Artificial Intelligence 100*, 1998.
- [5] M. Gen e R. Cheng, *Genetic Algorithms & Engineering Optimization*, Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [6] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, USA: Addison-Wesley, 2000.
- [7] R. Poli, J. Kennedy e T. Blackwell, “Particle Swarm Optimization: An Overview,” 2007.
- [8] G. K. Venayagamoorthy, S. Mohagheghi, J.-C. Hernandez, R. Harley e Y. d. Valle, “Particle Swarm Optimization: Basic Concepts, Variants and Applications in Power Systems,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 12, 2008.
- [9] D. P. Rini, S. M. Shamsuddin e S. S. Yuhaniz, “Particle Swarm Optimization: Technique, System and Challenges,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 14, 2011.
- [10] A. D. Belegundu e T. R. Chandrupatla, *Optimization Concepts and Applications in Engineering*, Nova Iorque: Cambridge University Press, 2011.
- [11] C. R. Reeves, *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, London: McGraw-Hill Book Company, 1995.

- [12] P. J. Carreira, “Otimização de injeção sobre tecidos pré-impregnados,” Coimbra, 2013.
- [13] T. Weise, *Global Optimization Algorithms - Theory and Application*, Self-Published, 2009.
- [14] M. Gestal, D. Rivero, J. R. Rabuñal, J. Dorado e A. Pazos, *Introducción a los Algoritmos Genéticos y la Programación Genética*, Coruña: A Coruña, 2010.
- [15] D. Whitley, “A genetic algorithm tutorial,” vol. 4, 1994.
- [16] J. A. d. I. Peña e A. P. Truyol, “Algoritmos Genéticos,” 2005.
- [17] A. Chipperfield, P. Fleming, H. Pohlheim e C. Fonseca, *Genetic Algorithm Toolbox: For Use with MATLAB*, Sheffield, 1994.
- [18] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, The MIT Press, 1992.
- [19] R. L. Haupt e S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- [20] X. Cai, D. C. Wunsch II e G. K. Venayagamoorthy, “Hybrid PSO-EA Algorithm for Training Feedforward and Recurrent Neural Networks for Challenging,” em *Advances in Computational Intelligence Theory & Applications*, Singapore, World Scientific , 2006.
- [21] J. Kennedy e R. Eberhart, “Particle swarm optimization,” *Neural Networks*, vol. 6, 1995.
- [22] C. Reynolds, “Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model,” vol. 21, 1987.
- [23] F. Heppner e U. Grenander, “A Stochastic Nonlinear Model for Coordinate Bird Flocks,” em *The Ubiquity of Chaos*, AAAS Publications, 1990.
- [24] E. O. Wilson, *Sociobiology: The New Synthesis*, Cambridge: Harvard University Press, 1975.
- [25] A. B. d. S. Serapião, “Fundamentos de Otimização por Inteligência de Enxames: Uma Visão Geral,” *Revista Controle & Automação*, vol. 20, 2009.

- [26] S. Das, A. Abraham e A. Konar, “Particle Swarm Optimization and Differential Evolution Algorithms: Technical Analysis, Applications and Hybridization Perspectives,” em *Advances of Computational Intelligence in Industrial Systems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [27] T. P. Bagchi, *Multiobjective Scheduling By Genetic Algorithms*, New York: Springer Science+Business Media New York, 1999.
- [28] S. J. Chapin, “Distributed and multiprocessor scheduling,” *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 28, 1996.
- [29] T. L. Casavant e J. G. Kuhl, “A taxonomy of scheduling in general-purpose distributed computing systems,” *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 14, 1998.
- [30] V. Morais e C. Vieira, *Matlab 7 & 6 - Curso Completo*, Lisboa: FCA - Editora de Informática, Lda, 2006.
- [31] S. J. Chapman, *Matlab Programmins for Engineers*, Brooks/Cole, 2000.

Anexos

Anexo A

Tabela 1: Diferentes tipos de tratamentos para o caso de estudo 5 e a sua duração (minutos)

Tratamento	Tipos de Tratamento	Duração
1	Tratamento da úlcera de pressão	30
2	Tratamento da úlcera venosa	30
3	Avaliação, execução e monitorização do Paciente	60
4	Tratamento de ferida cirúrgica	30
5	Tratamento de ferida simples	30
6	Tratamento de ferida traumática	30
7	Ligadura e tratamento de ferida	30
8	Tratamento da ferida cirúrgica e extração do material de sutura	30
9	Tratamento de ferida, vigiar penso, e monitorização da frequência e da tensão	75
10	Aplicar dispositivos de prevenção, instruir e treinar o prestador de cuidados e vigiar penso	60
11	Tratamento ferida cirúrgica e vigiar penso da ferida	30
12	Avaliar, apoiar e ensinar sobre o Luto	60
13	Tratamento de queimadura e vigiar penso da mesma	30
14	Tratamento e vigiar penso da úlcera, ensinar as complicações das patologias e instruir paciente	75
15	Avaliar, ensinar o prestador, vigiar penso, avaliar conhecimento, e ensinar prevenções e sinais	60
16	Avaliar ferida e úlcera, tratamento de ferida e úlcera e vigiar penso da úlcera	30
17	Ensinar sobre queda e complicações de ferida. Tratamento de ferida e vigiar penso	60
18	Aplicar creme, tratamento de ulcera de pressão, vigiar penso e sinais da úlcera. Referir Médico	30
19	Avaliar ferida traumática	60
20	Avaliar eructação e capacidade do pai e da mãe em promove-la. Papel parental no desenvolvimento infantil	60

21	Assistir no auto cuidado. Avaliar risco de queda e conhecimento. Monitorizar tensão	60
22	Avaliar comportamento e ensinar o prestador de cuidados. Monitorizar, tensão, glicemia e frequência cardíaca	60
23	Avaliar auto cuidado e conhecimento do prestador. Monitorizar, altura, tensão e frequência cardíaca	60
24	Monitorizar frequência cardíaca e tensão. Avaliar conhecimento do exercício, regime dietético e medicamentoso	60

Tabela 2: Tratamentos que cada paciente tem a realizar no caso de estudo 5

Paciente	Tratamento
1	1
2	2
3	1
4	2
5	3
6	3
7	3
8	1
9	4
10	2
11	5
12	6
13	7
14	8
15	9
16	10
17	11
18	12
19	13
20	14
21	15
22	16
23	17
24	18
25	19
26	20
27	21
28	22
29	23
30	23
31	24

Tabela 3: Diferentes tipos de tratamentos para os cinco dias do caso de estudo 6 e a sua duração (minutos)

Tratamento	Tipos de Tratamento	Duração
1	Tratamento da úlcera de pressão	30
2	Tratamento da úlcera venosa	30
3	Avaliação, execução e monitorização do Paciente	60
4	Tratamento de ferida cirúrgica	30
5	Tratamento de ferida simples	30
6	Tratamento de ferida traumática	30
7	Ligadura e tratamento de ferida	30
8	Tratamento da ferida cirúrgica e extração do material de sutura	30
9	Tratamento de ferida, vigiar penso, e monitorização da frequência e da tensão	75
10	Aplicar dispositivos de prevenção, instruir e treinar o prestador de cuidados e vigiar penso	60
11	Tratamento ferida cirúrgica e vigiar penso da ferida	30
12	Avaliar, apoiar e ensinar sobre o Luto	60
13	Tratamento de queimadura e vigiar penso da mesma	30
14	Tratamento e vigiar penso da úlcera, ensinar as complicações das patologias e instruir paciente	75
15	Avaliar, ensinar o prestador, vigiar penso, avaliar conhecimento, e ensinar prevenções e sinais	60
16	Avaliar ferida e úlcera, tratamento de ferida e úlcera e vigiar penso da úlcera	30
17	Ensinar sobre queda e complicações de ferida. Tratamento de ferida e vigiar penso	60
18	Aplicar creme, tratamento de ulcera de pressão, vigiar penso e sinais da úlcera. Referir Médico	30
19	Avaliar ferida traumática	60
20	Avaliar eructação e capacidade do pai e da mãe em promove-la. Papel parental no desenvolvimento infantil	60
21	Assistir no auto cuidado. Avaliar risco de queda e conhecimento. Monitorizar tensão	60

Anexos

22	Avaliar comportamento e ensinar o prestador de cuidados. Monitorizar, tensão, glicemia e frequência cardíaca	60
23	Avaliar auto cuidado e conhecimento do prestador. Monitorizar, altura, tensão e frequência cardíaca	60
24	Monitorizar frequência cardíaca e tensão. Avaliar conhecimento do exercício, regime dietético e medicamentoso	60
25	Tratamento ao local de inserção do dreno	30
26	Trocar dreno	30
27	Ensinar sobre técnicas para identificar e aliviar a dor	60
28	Ensinar o prestador de cuidados sobre dispositivos, prevenção e sinais de úlcera de pressão	30
29	Avaliar risco de úlcera diabética	60
30	Ensinar sobre o uso de álcool e do tabaco	30
31	Colheita de Sangue	10
32	Colheita de Urina	10

Tabela 4: Tratamentos que cada paciente tem a realizar nos cinco dias do caso de estudo 6

Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4		Dia 5	
Pac.	Trat.	Pac.	Trat.	Pac.	Trat.	Pac.	Trat.	Pac.	Trat.
1	1	1	3,18	1	2	1	2	1	2
2	2	2	3,6,21	2	1	2	16,23	2	1
3	1	3	21	3	17,23	3	6	3	4
4	2	4	5,25,26	4	2,3	4	7	4	2
5	3	5	3,4,16	5	6	5	17,23	5	6
6	3	6	15,23	6	7	6	3,15	6	5
7	3	7	17,23	7	5,25	7	13	7	5
8	1	8	3	8	11	8	6,16	8	4,27
9	4	9	21	9	3	9	15	9	1
10	2	10	3,21,29	10	3	10	21,24	10	18
11	5	11	7	11	17	11	23	11	6
12	6	12	3	12	14	12	14	12	11
13	7	13	3	13	21	13	28	13	12
14	8	14	3	14	23,29	14	23	14	3,19
15	9	15	3	15	6	15	23	15	18
16	10	16	11	16	24	16	23,29,30	16	31,32
17	11	17	12	17	22	17	23,30	17	31,32
18	12	18	23	18	23,24	18	23	18	2
19	13	19	20	19	11	19	24	19	4
20	14	20	24	20	6	20	23	20	1
21	15	21	5			21	16,17,23	21	6
22	16	22	1					22	11
23	17	23	2						
24	18	24	1						
25	19								
26	20								
27	21								
28	22								
29	23								
30	23								
31	24								

