



SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA O ESCALONAMENTO DE VIATURAS NUMA OFICINA DE REPARAÇÃO AUTOMÓVEL

JOÃO PEDRO NUNES MARTINS

julho de 2022

SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA O ESCALONAMENTO DE VIATURAS NUMA OFICINA DE REPARAÇÃO AUTOMÓVEL

João Pedro Nunes Martins

1170953

2 ANO

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA O ESCALONAMENTO DE VIATURAS NUMA OFICINA DE REPARAÇÃO AUTOMÓVEL

João Pedro Nunes Martins

1170953

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Engenheiro António Galvão Ramos

2 ANO

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Professora Doutora Maria Teresa Ribeiro Pereira

Professora Coordenadora, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Professor Doutor António Galvão Ramos

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Professor Doutor Luís Filipe Ribeiro dos Santos Guimarães

Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, aos meus pais, irmão, irmã e família, pelo apoio incondicional e incentivo em cada momento da minha vida. Por acreditarem no meu sucesso académico.

Ao meu orientador, Professor António Galvão, pela sua partilha de conhecimentos, conselhos e disponibilidade.

A todos os meus colegas académicos, pela ajuda e partilha de conhecimento ao longo destes anos.

Aos meus amigos que sempre me acompanharam, pela força e amizade.

E a todos que de certa forma contribuíram para a realização desta dissertação.

PALAVRAS-CHAVE

Escalonamento; Oficina Automóvel; Job Shop Scheduling Problem;

RESUMO

Existem cerca de 1,4 bilhões de viaturas em circulação mundialmente e, um dos fatores indispensáveis para que isso seja possível é a manutenção e reparação das mesmas. Estas garantem que a vida útil da viatura seja maximizada. As principais responsáveis para que esse serviço seja realizado de forma adequada são as oficinas automóveis.

De forma às oficinas manterem os seus níveis de eficiência elevados e cumprirem com as datas de entrega estipuladas devem ter um bom sistema de escalonamento. O escalonamento de uma oficina automóvel é uma tarefa bastante complexa devido à quantidade de variáveis e dimensão que esta pode tomar. Sendo que usualmente esta tarefa recai em apenas numa pessoa, geralmente, o chefe de oficina, este necessita do máximo de ferramentas para apoio à decisão na construção do mesmo.

Ao longo deste trabalho foi desenvolvido e testado um sistema de apoio à decisão que teve por base o modelo matemático apresentado por Özgüven et al., (2010). Esse sistema tem a capacidade de fornecer uma solução que aloca todas as tarefas a um operador e um posto de trabalho perante as condições inseridas. O sistema consegue ainda criar cronogramas com o planeamento dos operadores e dos postos de trabalho.

O sistema foi testado com dados reais tendo sido capaz não só de criar planeamentos e cronogramas para os recursos humanos e físicos em questão, como também foi possível analisar que os recursos humanos são os recursos limitantes da empresa em questão.

KEYWORDS

Scheduling; Auto Repair Shop; Job Shop Scheduling Problem

ABSTRACT

There are about 1.4 billion vehicles in circulation worldwide and one of the essential factors for this to be possible is their maintenance and repair. These ensure that the life of the vehicle is maximized. The main responsible for this service to be carried out properly are the car repair shops.

For auto repair shops to maintain their high efficiency levels and meet the stipulated delivery dates, they must have a good scheduling system. Scheduling a car repair shop is a very complex task due to the number of variables and size it can take. As this task usually falls to only one person, usually the head of the workshop, he needs the maximum number of tools to support the decision in the construction of the schedule.

Throughout this work, a decision support system was developed and tested based on the mathematical model presented by Özgüven et al., (2010). This system has the ability to provide a solution that allocates all the tasks to a technician and a workstation according to the conditions entered. The program also manages to create schedules with the planning of technicians and jobs.

The system was tested with real data and was able not only to create plans and schedules for the human and physical resources in question, but it was also possible to analyze that human resources are the limiting resources of the company in question.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ABC	<i>Artificial Bee Colonies</i>
ACO	<i>Ant Colony Optimization</i>
BD	<i>Benders Decomposition</i>
CS	<i>Cuckoo Search</i>
DTM	<i>Deterministic Turing Machine</i>
FJS	<i>Flexible Job Shop</i>
FJSP	<i>Flexible Job Shop Problem</i>
FSP	<i>Flow-Shop Problem</i>
GA	<i>Generic Algorithms</i>
GW	<i>Grey Wolf</i>
ILP	<i>Integer Linear Programming</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
JSP	<i>Job-Shop Problem</i>
LS	<i>Local Search</i>
MILP	<i>Mixed Integer Linear Programming</i>
NDTM	<i>Non Deterministic Turing Machine</i>
NGM	<i>Neighborhood Generation Mechanisms</i>
OSP	<i>Open-Shop Problem</i>
PMS	<i>Parallel Machine Scheduling</i>

PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i>
SA	<i>Simulated Annealing</i>
SB	<i>Shifting Bottleneck</i>
SI	<i>Swarm Intelligence</i>
SMS	<i>Single Machine Scheduling</i>
TS	<i>Tabu Search</i>
TSP	<i>Travelling Salesman Problem</i>
WOA	<i>Whale Optimization Algorithm</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Veículos rodoviários em circulação em Portugal (PORDATA, 2022)	3
Figura 2- Empresas de comércio, manutenção e reparação de veículos automóveis e motociclos em Portugal (Gabinete de Estratégia e Estudos, 2021)	4
Figura 3- Portal de Apoio Técnico.....	7
Figura 4- Diagrama de Venn de escalonamentos (adaptado de Lin et al., 2018)	14
Figura 5- Classificação do layout da oficina (adaptado de Otala et al., 2021).....	16
Figura 6- Classificação de métodos de otimização (adaptado de Muthuraman & Prasanna, 2017).....	20
Figura 7- Cronograma dos operadores para a instância de teste	40
Figura 8- Cronograma dos operadores para 2ª feira	46
Figura 9- Cronograma dos postos de trabalho para 2ª feira	46
Figura 10- Cronograma dos operadores para 3ª feira	51
Figura 11- Cronograma dos postos de trabalho para 3ª feira	51
Figura 12- Utilização diária dos recursos humanos e físicos	53
Figura 13- Comparação do <i>makespan</i> obtido para a oficina real e proposta	54
Figura 14- Utilização diária dos recursos humanos da oficina real e da proposta	55
Figura 15- Exemplo de introdução de dados sobre a oficina	57
Figura 16- Exemplo de introdução de dados de entrada, saída e tempos orçamentados para cada viatura	57
Figura 17- Exemplo de introdução da sequência de tarefas por viatura.....	58
Figura 18- Exemplo do processo de ordenar as tarefas	59
Figura 19- Exemplo de lista de informações escrita pelo <i>CPLEX</i> e demonstração de botões para criar cronograma.....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Medidores de desempenho.....	18
Tabela 2- Métodos de otimização	21
Tabela 3- Tabela-Resumo de artigos sobre problemas de escalonamento.....	24
Tabela 4- Tabela-Resumo de artigos sobre problemas de escalonamento no setor automóvel	28
Tabela 5- Tempos de chegada, tipos de tarefa e sequencia de cada viatura.....	38
Tabela 6- Tempo de processamento de cada operador para cada tipo de tarefa	38
Tabela 7- Resultado para a instância de teste.....	39
Tabela 8- Tipos de tarefas	41
Tabela 9- Grau de eficiência de cada operador em cada tipo de tarefa	42
Tabela 10- Tipo de tarefa que pode ser efetuada em cada posto de trabalho	42
Tabela 11- Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 2ª feira	43
Tabela 12- Sequência das tarefas por viatura na 2ª feira.....	44
Tabela 13-Resultado para a instância de 2ª feira	45
Tabela 14- Percentagem de utilização dos recursos para 2ª feira	47
Tabela 15- Tarefas que foram interrompidas ou transitaram de 2ª feira	47
Tabela 16- Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 3ª feira	48
Tabela 17- Sequência das tarefas por viatura na 3ª feira.....	49
Tabela 18- Resultado para a instância de 3ª feira	50
Tabela 19- Percentagem de utilização dos recursos para 3ª feira	51
Tabela 20- Indicadores de desempenho da oficina em percentagem	52
Tabela 21- Grau de eficiência de cada operador em cada tipo de tarefa para a oficina proposta	53
Tabela 22- Indicadores de desempenho da oficina com mais 2 operadores em percentagem	55
Tabela 23- Performance do programa no CPLEX para as várias instâncias	56

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	3
1.1.1	Manutenções preventivas e corretivas	5
1.1.2	Fornecimento de peças e acessórios.....	6
1.1.3	Escalonamento	7
1.2	OBJETIVOS.....	8
1.3	METODOLOGIA	8
1.4	ESTRUTURA DO RELATÓRIO	8
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	ESCALONAMENTO.....	13
2.1.1	Classificação de escalonamento.....	14
2.1.1.1	Tipo de escalonamento.....	14
2.1.1.2	Complexidade computacional	15
2.1.1.3	Layout da oficina.....	15
2.1.2	Escalonamento <i>Job Shop</i>	16
2.1.2.1	Flexible Job Shop.....	17
2.1.3	Medidores de desempenho	18
2.1.4	Métodos de otimização.....	19
2.1.4.1	Métodos exatos	20
2.1.4.2	Métodos aproximados	20
2.1.5	Descrição de Problemas de escalonamento.....	22
2.2	APLICAÇÃO DO ESCALONAMENTO NO SETOR AUTOMÓVEL.....	24
2.2.1	Descrição de problemas de escalonamento no setor automóvel	25
2.3	ESCALONAMENTO ACADÉMICO E REAL.....	29

3	DESENVOLVIMENTO	33
3.1	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO.....	33
3.2	CRIAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO.....	37
3.2.1	Testes computacionais	37
3.3	IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO	40
3.3.1	Dados relativos à oficina em questão	41
3.3.2	Planeamento de segunda-feira	43
3.3.3	Planeamento de terça-feira.....	47
3.3.4	Indicadores de desempenho da oficina	52
3.3.5	Performance do modelo.....	55
3.4	FUNCIONAMENTO E INTERFACE DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO.....	56
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	63
4.1	CONCLUSÕES.....	63
4.2	LIMITAÇÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	64
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	67
6	APÊNDICES	75
6.1	DADOS E PLANEAMENTO DE SEGUNDA-FEIRA.....	75
6.2	DADOS E PLANEAMENTO DE TERÇA-FEIRA.....	79
6.3	DADOS E PLANEAMENTO DE QUARTA-FEIRA	83
6.4	DADOS E PLANEAMENTO DE QUINTA-FEIRA	86
6.5	DADOS E PLANEAMENTO DE SEXTA-FEIRA	89
6.6	DADOS E PLANEAMENTO DE SEGUNDA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES	92
6.7	DADOS E PLANEAMENTO DE TERÇA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES	96
6.8	DADOS E PLANEAMENTO DE QUARTA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES.....	100

6.9	DADOS E PLANEAMENTO DE QUINTA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES.....	103
6.10	DADOS E PLANEAMENTO DE SEXTA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES.....	106

INTRODUÇÃO

- 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO
- 1.2 OBJETIVOS
- 1.3 METODOLOGIA
- 1.4 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo é realizada uma primeira interação com o tema da dissertação do Mestrado de Engenharia Mecânica (MEM) a qual se trata de um “Sistema de apoio à decisão para o escalonamento de viaturas numa oficina de reparação automóvel”. Neste capítulo é também apresentada a contextualização do tema de forma a explicar o contexto em que o presente trabalho se insere, os objetivos que se pretende atingir, metodologia utilizada para a sua elaboração e termina com a apresentação da estrutura do relatório e descrição do propósito de cada capítulo.

1.1 Contextualização

Čekerevac et al. (2022) estima que, em 2019, existiam cerca de 1,4 biliões viaturas em circulação mundialmente e segundo PORDATA (2022), em 2020, cerca de 7 milhões em Portugal (Figura 1). Um dos fatores essenciais para que isso aconteça é a manutenção e reparação das mesmas. A manutenção e reparação garante que a vida útil do veículo seja maximizada. As oficinas automóveis espalhadas mundialmente são as principais responsáveis para que esse serviço seja realizado de forma adequada.

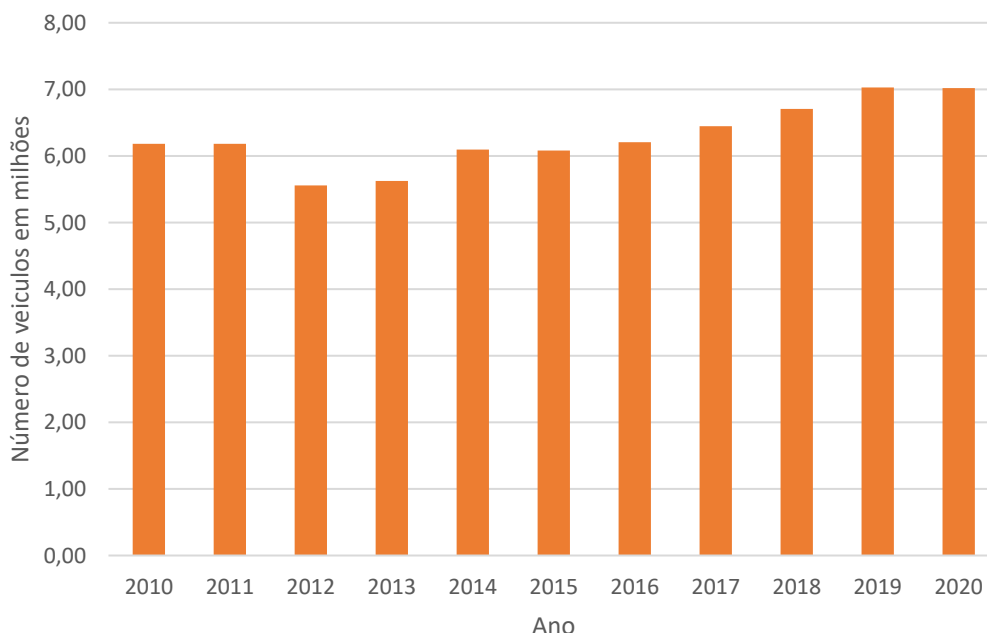


Figura 1- Veículos rodoviários em circulação em Portugal (PORDATA, 2022)

Em Portugal existiam, em 2020, 31419 empresas no setor de comércio, manutenção e reparação, de veículos automóveis e motociclos encontrando-se este setor em ascendência (Figura 2). Dentro desse setor relativamente ao presente trabalho existem as oficinas independentes e as oficinas de marcas. As oficinas de marcas especializam-se, normalmente, em apenas uma marca de automóveis enquanto as oficinas independentes geralmente realizam trabalhos em várias marcas tornando assim mais difícil atingir o nível de especialização da própria marca devido a terem que se formar em diferentes marcas. A grande vantagem das oficinas independentes é estar exposta a um maior leque de clientes.

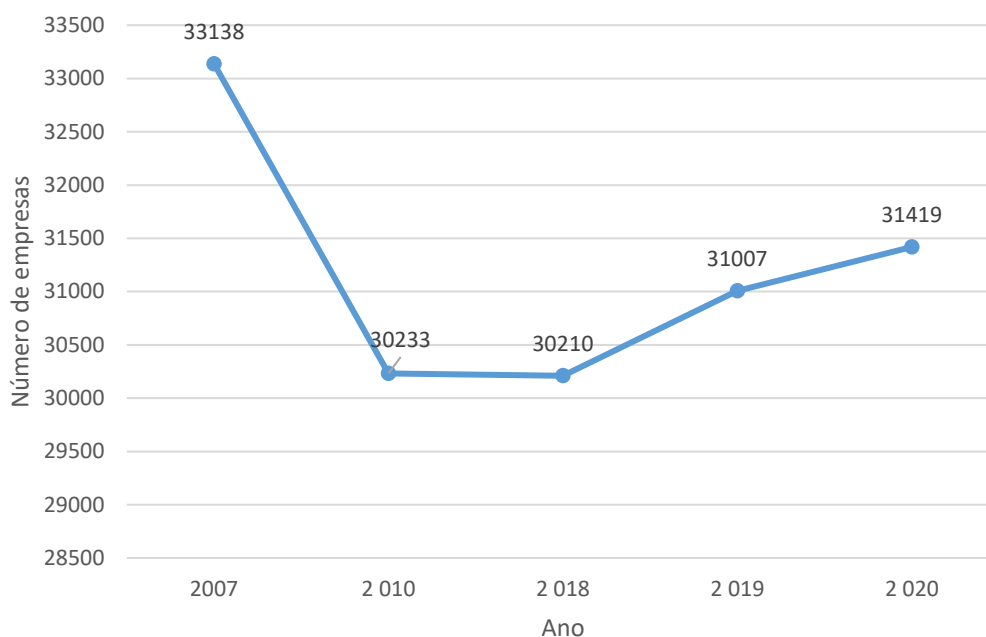


Figura 2- Empresas de comércio, manutenção e reparação de veículos automóveis e motociclos em Portugal (Gabinete de Estratégia e Estudos, 2021)

O mercado automóvel é um mercado em constante atualização e inovação sendo por isso a necessidade de formação elevadíssima. Todos os anos são criados dezenas de novos modelos de viaturas. Apesar de vários modelos partilharem componentes como motores, transmissões, componentes de interior, acessórios, partes de carroçaria ou até *chassis* cada nova viatura deve ser considerada uma nova aprendizagem pois, como por exemplo, um mesmo motor em dois modelos diferentes pode ter que ser desmontado de diferente forma em cada uma delas ou até mesmo ter diferentes acessórios acoplados a ele. Assim sendo para uma oficina se manter atualizada com a indústria tem uma necessidade de formação elevadíssima e a dificuldade de se atualizar aumenta com o número de marcas com que trabalha.

1.1.1 Manutenções preventivas e corretivas

Como qualquer outra máquina uma viatura deve ter manutenções preventivas e corretivas com o objetivo de o manter em funcionamento o máximo de tempo possível.

As manutenções preventivas são essenciais para o bom funcionamento das viaturas. O seu objetivo tal como o nome indica é prever a falha do componente. Apesar do veículo não parar de funcionar, os fabricantes têm intervalos de tempo ou distância os quais através do seu estudo e experiência indicam que se deve proceder á substituição de um componente no intervalo indicado. A falta de realização deste tipo de manutenção incorre o risco de este falhar e provocar danos e custos maiores.

Dentro das manutenções preventivas temos as manutenções preventivas condicionadas as quais não são baseadas em intervalos indicados pelo fabricante, mas sim baseada em sinais do automóvel que indicam possíveis problemas. Esses sinais podem ser, por exemplo, a identificação de desgastes visualmente ou ruídos estranhos produzidos pelo veículo. Estes podem ser analisados frequentemente pelo proprietário ou então por um funcionário com ajuda de um equipamento próprio de avaliação de desgaste, como por exemplo uma máquina de folgas a qual, auxilia um funcionário a avaliar o estado de muitos componentes de suspensão. Este tipo de inspeções tem usualmente um custo aplicado ao cliente.

O outro tipo de manutenção é a manutenção corretiva cujo objetivo é corrigir um problema que o veículo apresenta. Esta é uma manutenção necessária pois a falha do componente já ocorreu. O veículo não deve circular enquanto não for reparado pois isso poderá prejudicar a sua vida útil, segurança e aumentar ainda mais os custos de reparação.

As manutenções preventivas podem ser agendadas previamente á sua execução e desse modo oferecer ao cliente um menor tempo sem o seu veículo. Ao agendar a manutenção pode ser preparado todo o processo de trabalho tendo dessa forma, idealmente, um funcionário escalonado para o veículo tal como já todas as peças necessárias disponíveis diminuindo assim o tempo de espera do carro para a execução do trabalho. No caso das manutenções corretivas nunca são agendadas. Devido a isso o tempo do veículo na oficina aumenta pois este tem que esperar que um funcionário tenha disponibilidade para trabalhar no veículo e mesmo que tenha disponível de imediato um funcionário terá que esperar que sejam entregues as peças necessárias para a reparação, tornando serviço do fornecedor de peças um elemento importante para as oficinas automóveis.

1.1.2 Fornecimento de peças e acessórios

Hoje em dia os componentes são maioritariamente substituídos em vez de reparados. As oficinas encontram então a necessidade de um fornecedor de peças de substituição com um serviço rápido e de qualidade.

Antes para obter as peças desejadas as oficinas tinham que contactar um fornecedor de peças, verificar a sua disponibilidade e, caso houvesse stock, reservá-las e a própria oficina teria que enviar um colaborador ao fornecedor. Este tipo de serviço obrigava as oficinas a ter um grande stock de peças para ter um serviço rápido pois um cliente que se deslocasse á oficina para substituir, por exemplo, uns calços e discos de travão sem marcação não ficaria satisfeito se tivesse que esperar horas para que as peças chegassem às instalações. No entanto, como não é viável para as oficinas ter um stock de todo o tipo de peças para todos os veículos era necessário ir aos fornecedores várias vezes ao dia o que implicava um custo adicional para a oficina chegando ao ponto da necessidade de uma pessoa apenas para fazer esse serviço. Alguns fornecedores de peças como a *Create Business* aperceberam-se que podiam acrescentar valor ao seu serviço se eles próprios tratassem da logística da entrega de peças. Estes fornecedores começaram então a ter uma frota de veículos e funcionários dedicados apenas à entrega das peças às oficinas. Criaram as suas próprias rotas e garantem que passam algumas vezes ao dia nas oficinas em determinado horário. Este serviço evoluiu ao ponto de um veículo de mercadorias passar 2 vezes de manhã, 2 vezes de tarde e para peças mais pequenas uma mota passar de hora a hora, totalizando 8 vezes por dia. Para além da entrega criaram portais nos quais é possível verificar se as peças necessárias estão disponíveis e fazer encomendas diretamente. Mais tarde continuaram a acrescentar valor ao, nesses mesmos portais, terem uma linha de apoio técnico (Figura 3) com manuais de informação técnica e diagnóstico conceituados como *AutoData* e *HaynesPro*. Estas abordagens permitem às oficinas uma maior flexibilidade de escalonamento, menos funcionários e um menor nível de stock.

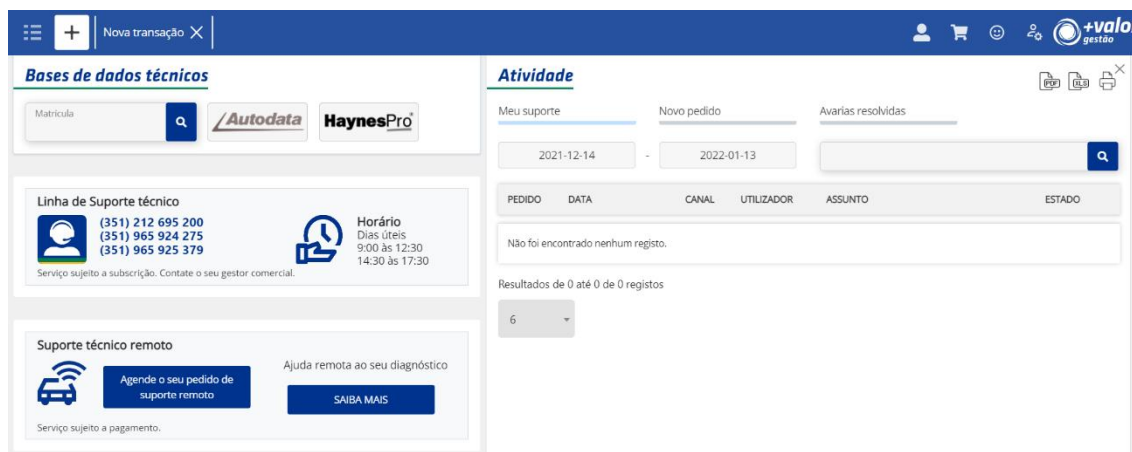


Figura 3- Portal de Apoio Técnico

1.1.3 Escalonamento

O escalonamento numa oficina é uma tarefa bastante complexa devido á quantidade de variáveis e dimensão que esta pode tomar. A responsabilidade de efetuar o escalonamento e programação incide usualmente em apenas uma pessoa sendo essa usualmente o chefe de oficina. Este dedica grande parte do seu tempo a realizar todo o escalonamento oficial com o objetivo de cumprir os prazos estipulados com os clientes. De forma a efetuar este escalonamento o chefe tem de considerar que irão aparecer clientes agendados, mas também clientes que não agendaram o serviço ou que tiveram uma avaria inesperada. Este tipo de incerteza exige que o responsável tenha uma grande agilidade na gestão da oficina. Em oficinas de pequena dimensão esta tarefa é puramente direcionada para o responsável, mas em oficinas de grande dimensão esta tarefa torna-se tão exigente que o responsável necessita de ferramentas que ajudem a realizá-la e obter bons resultados. Essas ferramentas podem ser desde ferramentas de apoio á decisão de realização de escalonamento de viaturas até meios de comunicação com os seus funcionários como televisores com a informação de que viatura o funcionário tem de efetuar determinada tarefa.

O responsável tem então que resolver problemas de alocação de trabalhos a recursos minimizando o tempo de paragem dos seus funcionários. Os recursos a ter em conta são principalmente os funcionários disponíveis e as competências de cada um deles pois um funcionário pode ser capaz de trocar um pneu, mas não ser capaz de trocar uma correia de distribuição. De notar também que nesta indústria normalmente cada viatura tem apenas um funcionário a realizar tarefas na mesma. Algumas restrições presentes neste tipo de problema são a quantidade de postos de trabalho disponíveis (elevadores, fossas e outras zonas de trabalho), ferramentas e máquinas disponíveis (máquina de carregamento de ar condicionado ou de alinhamento de direção) e disponibilidade de peças a qual como já mencionado anteriormente já se encontra bastante otimizada.

1.2 Objetivos

Através do desenvolvimento desta dissertação pretende-se colmatar as necessidades da gestão e do planeamento da produção de forma a aproveitar ao máximo os recursos disponíveis. Assim sendo o principal objetivo desta dissertação é:

1. Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para o escalonamento de viaturas numa oficina de reparação automóvel;
2. Teste e validação do modelo.

1.3 Metodologia

Alguma da informação exposta na introdução deste trabalho foi obtida através de um diálogo com o sócio-gerente Sr. João Paulo Valqueresma Martins de uma oficina denominada por Auto Garagem Arrifaninha. Este senhor trabalha no ramo desde a década de 80 e assumiu o presente cargo desde 1996 conseguindo assim reportar a evolução deste ramo até a atualidade. Como outras fontes de informação foram utilizados motores de busca de artigos científicos como *B-on*, *Google Scholar*, *Science Direct* principalmente para a presente revisão bibliográfica. O programa desenvolvido foi realizado em dois programas, *Excel* e *CPLEX*. A redação do presente relatório foi elaborada com a ajuda do Microsoft Word.

1.4 Estrutura do relatório

O presente relatório encontra-se dividido em quatro capítulos principais.

O primeiro capítulo (Introdução) tem como objetivo contextualizar o tema em análise, apresentar os objetivos definidos, assim como a estrutura do relatório.

No segundo capítulo (Revisão Bibliográfica) procede-se à revisão científica e técnica dos conceitos que serão utilizados no desenrolar deste trabalho. Este capítulo está dividido em 3 subcapítulos. No primeiro subcapítulo são retratadas diferentes componentes do escalonamento como a sua classificação, medidores de desempenho, modelos de otimização e descritos alguns artigos deste tópico. No segundo subcapítulo são enquadrados e revistos os trabalhos de escalonamento desenvolvidos especificamente no setor automóvel de forma a servir como base e fundamento do trabalho que será desenvolvido. No último subcapítulo são expostas algumas diferenças entre o escalonamento académico e o real.

No terceiro capítulo (Desenvolvimento) é desenvolvido o sistema de apoio à decisão. Este capítulo é composto por 4 subcapítulos. No primeiro é formulado um modelo matemático que será utilizado para a criação do sistema de apoio à decisão. No segundo é criado e testado o sistema com a utilização do *Excel* e do solver *CPLEX*. No

terceiro é utilizado o sistema de apoio à decisão com valores reais obtidos através de uma oficina. No último subcapítulo é descrito o funcionamento e interface do sistema desenvolvido.

No quarto capítulo (Conclusão) são expostas as conclusões que foram possíveis apurar com o trabalho realizado, os objetivos atingidos, as suas limitações e possíveis trabalhos futuros.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 ESCALONAMENTO
- 2.2 APLICAÇÃO DO ESCALONAMENTO NO SETOR AUTOMÓVEL
- 2.3 ESCALONAMENTO ACADÉMICO E REAL

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será retratada a revisão bibliográfica de temas dentro do escalonamento tais como as suas diferentes classificações, medidores de desempenho, modelos matemáticos, heurísticas e algoritmos que permitem a resolução dos mesmos problemas, assim como trabalhos de escalonamento desenvolvidos especificamente no setor automóvel de forma a servir como base e fundamento do trabalho que será desenvolvido. No final são evidenciadas algumas diferenças entre o escalonamento académico e o real.

2.1 Escalonamento

Em muitas das indústrias de manufatura modernas máquinas, recursos humanos e matérias-primas são as principais causas de restrição de recursos no escalonamento. Escalonamento é um problema de tomada de decisão para a alocação de operações aos recursos disponíveis ao longo do tempo de forma a cumprir as funções objetivo (Vallikavungal Devassia et al., 2018).

Este define a prioridade e organiza tarefas para atender a certos requisitos, limitações ou objetivos. Sendo o tempo o maior constrangimento, as tarefas devem ser agendadas de forma a ser possível serem realizadas dentro do tempo disponível e em simultâneo recurso limitante, as tarefas devem ser agendadas para utilizar este recurso limitado de maneira ideal (Azemi et al., 2019; Lewandowski & Olszewska, 2020).

Escalaonamento é um processo de decisão usado regularmente em várias indústrias de serviço e manufatura. Este trata da alocação de recursos a tarefas de determinados períodos de tempo sendo a sua finalidade otimizar um ou mais objetivos.

Numa organização os recursos e tarefas podem ter várias formas. Os recursos podem ser máquinas em oficinas, pistas no aeroporto, equipas num local de construção, unidades de processamento num ambiente de computação, recursos humanos numa oficina automóvel e assim por diante. As tarefas podem ser, por exemplo operações num processo de produção, descolagem e aterragem num aeroporto ou etapas num projeto de construção (Pinedo, 2012).

O escalonamento apresenta algumas vantagens como possibilitar a reflexão do utilizador antes de tomar uma decisão, prever a evolução do serviço, gerar alterações no modelo e ter uma perceção global de todos os trabalhos a realizar. No entanto este,

naturalmente, contem limitações como a incapacidade de as previsões serem completamente corretas devido aos dados introduzidos não serem os reais (Kerzner, 2009).

2.1.1 Classificação de escalonamento

O problema de escalonamento pode ser classificado por várias vertentes sendo neste trabalho analisadas as seguintes:

- Tipo de escalonamento;
- Complexidade do Problema;
- *Layout* da oficina.

2.1.1.1 Tipo de escalonamento

O escalonamento pode ser classificado em três classes: sem atraso, ativo e semi-ativo (Figura 4) (Lin et al., 2018).

O escalonamento é considerado sem atraso se nenhuma máquina for mantida inativa enquanto uma operação está á espera de ser processada, ativo se não for possível colocar uma operação num buraco vazio da programação mais cedo e semi-ativo se nenhuma operação puder ser concluída antes sem ser alterada a ordem de processamento em qualquer uma das máquinas, logo um escalonamento ativo é sempre semi-ativo, mas o contrário pode não se verificar (Pinedo, 2012).

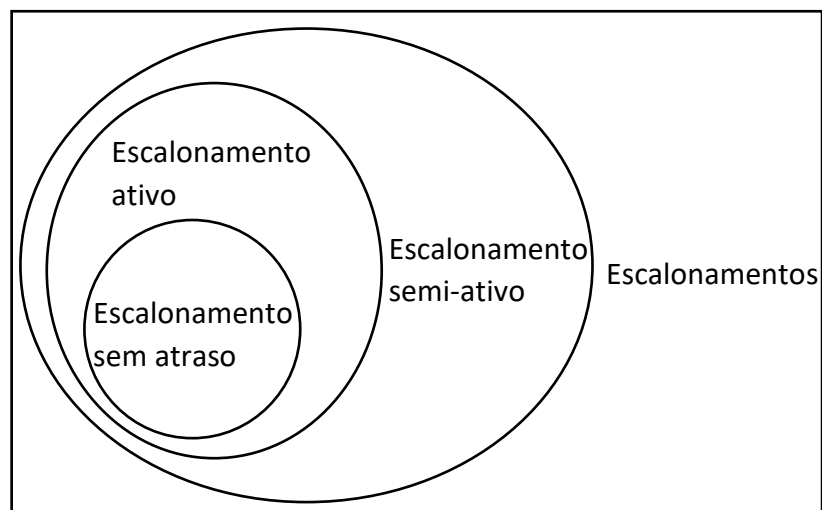


Figura 4- Diagrama de Venn de escalonamentos (adaptado de Lin et al., 2018)

2.1.1.2 Complexidade computacional

Os problemas de escalonamento são considerados muito complexos e computacionalmente difíceis de resolver por causa da sua diversidade, dimensão e natureza dinâmica. Estes são considerados problemas de otimização devido a normalmente o seu objetivo passar por obter um plano de produção que minimize ou maximize um ou mais critérios de otimização. Alguns problemas inicialmente são tratados como problemas de decisão com vista a obter respostas binárias de alocação da tarefa a uma determinada máquina do sistema de produção (Varela, 2007).

Segundo a teoria de complexidade existem dois principais tipos de algoritmos, os com tempo de processamento polinomial e os com tempo exponencial de acordo com o aumento do tamanho da sua amostra. Os algoritmos com tempo polinomial são aqueles os quais a função de complexidade temporal é $O(p(k))$, onde p é polinomial e k é o tamanho de entrada de uma instância. O algoritmo cuja função de complexidade temporal não possa ser delimitada dessa forma, é denominado de algoritmo de tempo exponencial (Błażewicz et al., 2007).

A classe P consiste em todos os problemas que podem ser resolvidos pela máquina Turing determinística (DTM) num tempo limitado por um polinómio do comprimento de entrada. A classe NP pode ser subdividida em $NP-hard$ e $NP-complete$ e consiste em todos os problemas que podem ser resolvidos em tempo polinomial por uma máquina Turing não determinística ($NDTM$) (Błażewicz et al., 2007).

Problemas $NP-Complete$ são aqueles que podem ser verificados em tempo polinomial, enquanto problemas que não podem ser resolvidos ou verificados em tempo polinomial por algoritmos determinísticos são chamados de problemas $NP-hard$. Geralmente $NP-hard$ são problemas de otimização (Bhasin & Gupta, 2018).

2.1.1.3 Layout da oficina

Após mais de meio século de pesquisa realizada em torno de problemas de escalonamento determinístico a quantidade de modelos criada é surpreendente. Os problemas de escalonamento normalmente consistem de uma série de trabalhos, em que cada um contem um número de operações ou tarefas que tem que ser realizadas por uma ou mais máquinas, tendo assim como variáveis número de máquinas, etapas e operações do processo e rotas dos produtos (Hart et al., 2005).

Desta forma a literatura apresenta vários tipos de classificação de escalonamentos em relação ao layout da oficina podendo estes ser divididos uma única ou várias etapas (Figura 5) (Hart Emma et al., 2005):

Máquina Única (SMS): Contém apenas uma máquina na oficina onde cada trabalho tem uma operação para ser realizada nessa mesma máquina. O objetivo deste

escalonamento passa por obter a sequência ideal para todos os trabalhos serem completados;

Máquinas Paralelas (PMS): Contém m máquinas que trabalham em paralelo onde cada trabalho tem uma operação para ser processada. Um trabalho pode ser processado em várias máquinas;

Flow-Shop (FSP): Contém m máquinas e cada trabalho consiste numa sequência estritamente ordenada de operações onde a ordem das máquinas para todos os trabalhos é idêntica;

Job-Shop (JSP): Contém m máquinas e n trabalhos onde cada trabalho tem a sua própria ordem de processamento pelas máquinas podendo esse mesmo trabalho não ter nenhuma semelhança com qualquer outro trabalho;

Open-Shop (OSP): Esta é uma extensão do JSP onde o trabalho em si não tem uma ordem de processamento.

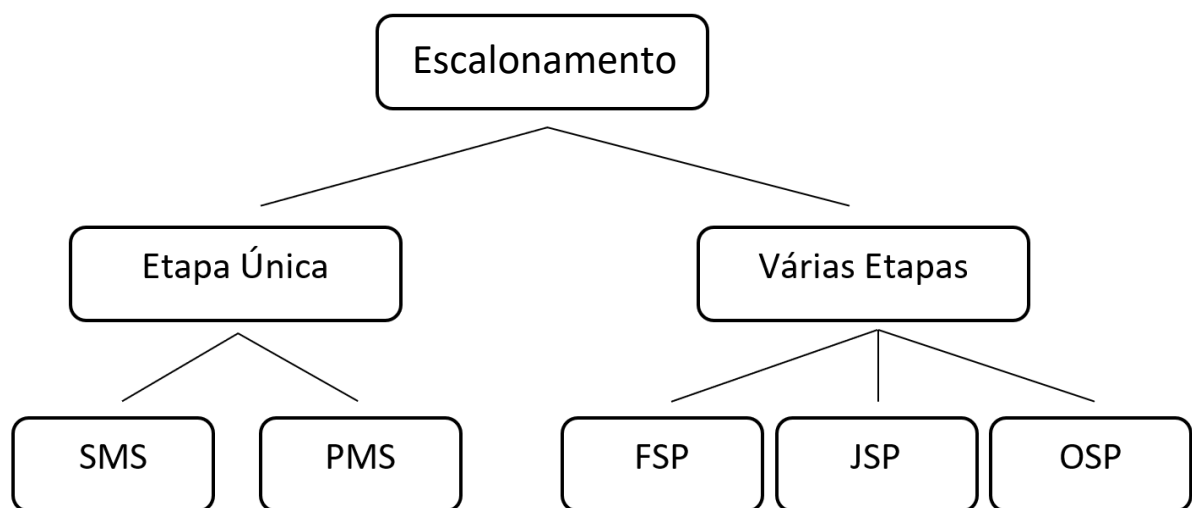


Figura 5-Classificação do layout da oficina (adaptado de Otala et al., 2021)

2.1.2 Escalonamento *Job Shop*

O escalonamento *Job Shop* é um problema de otimização que atribui trabalhos aos seus recursos, como por exemplo, máquinas. Este tipo de escalonamento é baseado em dois fatores como o roteamento e o tempo de processamento desses mesmos trabalhos (Kalshetty et al., 2020).

O *Job Shop Scheduling Problem (JSSP)* consiste de um conjunto n de empregos, um conjunto m de máquinas e um conjunto O de operações, onde cada um dos trabalhos é um subconjunto de O em forma sequencial. Cada operação i tem uma duração, de modo que uma máquina não possa processar mais de uma operação de cada vez e a

ordem de execução das operações em cada trabalho é respeitada (Antonio Cruz-Chávez et al., 2007).

O momento em que a execução de todas as operações do JSSP são concluídas é conhecido como o *makespan*. Normalmente um dos objetivos do JSSP passa por arranjar uma solução que minimize o *makespan* (Antonio Cruz-Chávez et al., 2007).

O JSSP é um dos mais conhecidos e difíceis de resolver na área do escalonamento, dessa forma torna-se também, provavelmente, o modelo mais estudado e desenvolvido dos modelos pertencentes à teoria do escalonamento determinístico (Antonio Cruz-Chávez et al., 2007).

O JSSP é classificado como um problema *NP-hard* devido à sua complexidade e aumento exponencial de tempo de processamento necessário consoante o tamanho do problema (Antonio Cruz-Chávez et al., 2007; Cunha et al., 2020; Jedrzejowicz & Wierzbowska, 2020; Xie et al., 2019). Por este motivo, um algoritmo determinístico deixa de ser viável para a resolução de problemas de grandes instâncias, tornando-se mais apetecíveis os algoritmos meta-heurísticos devido à redução do tempo de processamento (Antonio Cruz-Chávez et al., 2007).

A decisão crítica no JSP passa por agendar as tarefas nas máquinas de forma a minimizar o comprimento do escalonamento, por exemplo o tempo que demora desde o início até ao fim do trabalho. Nesta fase deste tipo de escalonamento torna-se necessário otimização sendo considerado um dos problemas de otimização combinatória mais difíceis. Em termos computacionais, como já anteriormente mencionado, não só são considerados problemas *NP-hard* como são considerados dos piores problemas *NP-hard* conhecidos (Cunha et al., 2020).

2.1.2.1 Flexible Job Shop

De modo a igualar os requerimentos que o mercado tem hoje em dia os sistemas de produção têm que se tornar mais flexíveis e eficientes. Por forma a atingir esses objetivos não são apenas necessárias máquinas automatizadas e flexíveis, mas também escalonamentos flexíveis (Fattahi et al., 2007).

O FJSP é uma extensão mais complexa do JSP sendo também considerado NP-hard. Neste existe um conjunto de máquinas disponíveis para serem selecionadas para cada operação o que aumenta a flexibilidade, mas também a complexidade do escalonamento (Chaudhry & Khan, 2016 viewed in Xie et al., 2019; Fattahi et al., 2007).

O FJSP apresenta duas dificuldades, a primeira é a atribuição de cada operação a uma máquina, e a segunda é o escalonamento dessas operações de forma a realizar o objetivo mínimo predefinido (Xia & Wu, 2005).

2.1.3 Medidores de desempenho

De forma a melhorar o desempenho de um escalonamento este tem que ser avaliado através de critérios e medidas de desempenho. Estas medidas de desempenho usualmente pretendem minimizar ou maximizar um critério definido e tornam possível a seleção do método de resolução do problema com melhor desempenho e eficiência (Varela, 2007).

As medidas de desempenho mais frequentemente usadas na definição da função objetivo de um problema de escalonamento são apresentadas na Tabela 1 (Brucker, 2007; Chaudhry & Khan, 2016; Pinedo, 2012; Reis, 2020).

Na Tabela 1 são utilizadas algumas siglas como:

- C_j - Tempo de conclusão da tarefa j ;
- d_j - Data de entrega da tarefa j ;
- T_j - Diferença entre tempo de conclusão e data de entrega da tarefa j ;
- y_j - Indica se a tarefa j se encontra ou não em atraso.

Tabela 1- Medidores de desempenho

Função Objetivo	Equação	Interpretação
Minimização do <i>makespan</i>	$\min C_{max} = \min (\max(C_j))$	Minimizar o tempo em que a última tarefa de uma sequência de trabalhos está completa.
Minimização do tempo de fluxo total	$\min \sum_{j=1}^n C_j$	Minimizar a soma dos tempos de conclusão, C_j , de todas as tarefas.
Minimização da soma dos atrasos	$\min \sum_{j=1}^n T_j$	Menor soma de todos os atrasos, T_j .
Minimização do atraso máximo	$\min T_{max}$ $T_j = \max (0; C_j - d_j)$ $T_j \geq 0$	Minimizar a tarefa com maior diferença, T_j , entre o instante de conclusão, C_j , e a data de entrega, d_j , sendo essa diferença positiva, <i>lateness</i> .

Minimização da antecipação máxima	$\min T_{max}$ $T_j = \max (0; C_j - d_j)$ $T_j \leq 0$	Minimizar a tarefa com maior diferença, T_j , entre o instante de conclusão, C_j , e a data de entrega, d_j , sendo essa diferença positiva, tardiness.
Minimização do número de tarefas atrasadas	$\min \sum_{j=1}^n y_j$ $y_j = \begin{cases} 1, & \text{se a tarefa } j \text{ está atrasada} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$	Minimizar o número de tarefas que não cumprem a data de entrega.

2.1.4 Métodos de otimização

Os métodos de otimização existem para ajudar a chegar à solução dos problemas através de regras e/ou algoritmos. Estes podem ser divididos em exatos e aproximados sendo a escolha da utilização de cada um deles baseada na dimensão e tempo computacional para resolução do problema. Inicialmente os investigadores utilizavam regras e métodos exatos pois o foco era em problemas de escalonamento simples (Otalá et al., 2021). Os métodos aproximados podem ser divididos em heurísticos e meta heurísticos. A classificação dos métodos de otimização encontra-se representada na Figura 6 (Zobolas et al., 2008).

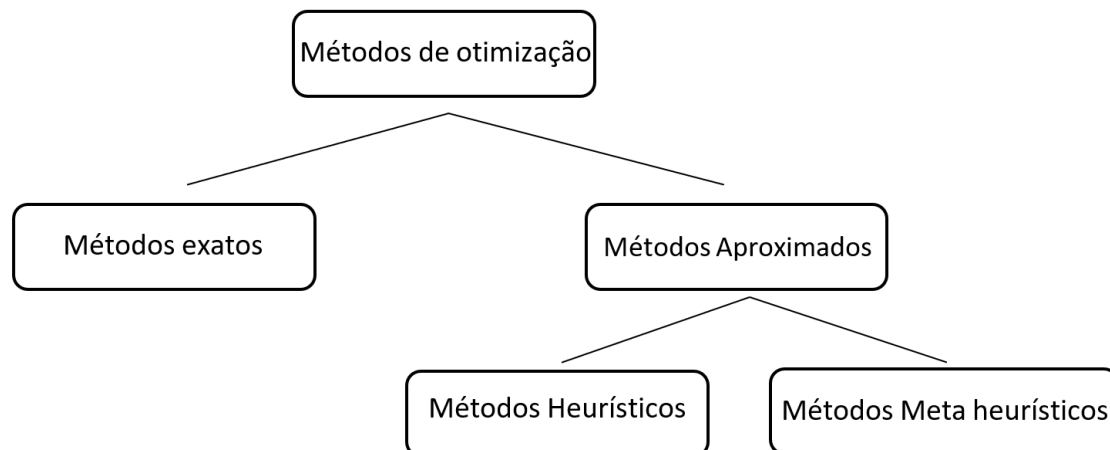


Figura 6- Classificação de métodos de otimização (adaptado de Muthuraman & Prasanna, 2017)

2.1.4.1 *Métodos exatos*

Métodos exatos resolvem os problemas apresentando soluções exatas e completas. Esse tipo de método de resolução de problemas implica uma grande quantidade de tempo computacional ao ponto de não ser possível ser resolvido num tempo razoável. Tendo em conta as propriedades destes métodos estes são frequentemente utilizados em problemas de pequena dimensão (Muthuraman & Prasanna, 2017).

2.1.4.2 *Métodos aproximados*

De forma a ser possível resolver problemas de grande dimensão é, usualmente, utilizado métodos aproximados podendo assim ser resolvidos em tempo razoável. Apesar de resolver esse problema dos métodos exatos, estes métodos não prometem soluções ótimas, mas sim soluções próximas do ótimo.

Os métodos aproximados podem ser divididos em métodos heurísticos e meta heurísticos (Muthuraman & Prasanna, 2017). Métodos heurísticos são dependentes dos problemas, ou seja, geralmente são adaptados ao problema em questão e tentam aproveitar as particularidades desse problema. As metas heurísticas são independentes dos problemas, como tal, não aproveitam nenhuma especificidade do problema podendo assim ser usados como caixas pretas. Embora independentes pode ser necessário fazer alguns pequenos ajustes dos seus parâmetros para se adaptarem ao problema em questão.

Na Tabela 2 são apresentados alguns métodos de otimização existentes, onde estes se classificam e alguns artigos relevantes.

Tabela 2- Métodos de otimização

Método de otimização	Sigla	Tipo	Artigos
Ant Colony Optimization	ACO	Meta heurístico	(Deepalakshmi & Shankar, 2020; Haan, 2016)
Artificial Bee Colonies	ABC	Meta heurístico	(Zhang et al., 2013)
Benders Decomposition	BD	Exato	(Aramon Bajestani & Beck, 2013)
Cuckoo Search	CS	Meta heurístico	(Zhu et al., 2019)
Generic Algorithms	GA	Meta heurístico	(Chen et al., 2020; Haan, 2016; Kalshetty et al., 2020; Shi et al., 2020; Viana et al., 2020)
Grey Wolf	GW	Meta heurístico	(Zhu et al., 2019)
Integer Linear Programming	ILP	Exato	(Winter & Musliu, 2021)
Local Search	LS	Heurístico	(Haan, 2016; Viana et al., 2020; Wang et al., 2018)
Mixed Integer Linear Programming	MILP	Exato	(Birgin et al., 2014; Meng et al., 2020; Özgüven et al., 2010)
Neighborhood Generation Mechanisms	NGM	Meta heurístico	(Antonio Cruz-Chávez et al., 2007)
Particle Swarm Optimization	PSO	Meta heurístico	(Haan, 2016; Zeng & Wang, 2018)
Shifting Bottleneck	SB	Heurístico	(Shi et al., 2020)
Simulated Annealing	SA	Meta heurístico	(Shivasankaran et al., 2013; Zeng & Wang,

				2018)
Swarm Intelligence	SI	Meta heurístico	(Jedrzejewicz & Wierzbowska, 2020; Zhu et al., 2019)	
Tabu Search	TS	Meta heurístico	(Haan, 2016; Vela et al., 2020)	
Whale Algorithm	Otimization	WOA	Meta heurístico	(Zhu et al., 2019)

2.1.5 Descrição de Problemas de escalonamento

Nesta secção serão descritos trabalhos de alguns autores que realizaram estudos de problemas de escalonamento. Ao longo desta análise serão relatadas as singularidades de cada problema revisto e método, exato ou aproximado, utilizado pelo autor na sua resolução. No final será apresentada a Tabela 3 na qual se resume o que foi descrito ao longo deste subcapítulo.

Antonio Cruz-Chávez et al. (2007) apresenta um algoritmo o qual aplica um novo mecanismo que permite a avaliação de qualidade de soluções que são obtidas no JSSP, avaliando o *makespan* como um objetivo da função. Os resultados observados na pesquisa demonstram que o mecanismo de programação proposto é muito mais eficiente que o mecanismo de programação utilizado regularmente nas metas heurísticas para JSSP podendo dessa forma ser explorado um espaço de solução superior.

Özgüven et al. (2010) retratam dois tipos de problemas *flexible job shop* (FJS) de otimização *NP-hard*. O FJSP que engloba o subproblema de roteamento e sequenciamento e o FJSP com plano flexível que inclui o subproblema de seleção de processo. Os autores começam por desenvolver um modelo MILP e comparam a sua eficiência computacional com o modelo desenvolvido por Fattahi et al., (2007), concluindo que o modelo desenvolvido era superior. De seguida desenvolvem um modelo MILP modificado tendo por base o modelo desenvolvido inicialmente com o objetivo de responder ao subproblema de seleção de processos.

No artigo Aramon Bajestani & Beck (2013) abordam um problema de escalonamento dinâmico numa oficina de reparação de aviões militares sendo o objetivo maximizar a cobertura do voo ao longo de um longo prazo, considerando a capacidade de reparações e as falhas dos aviões. Os autores tratam o escalonamento dinâmico como escalonamentos estáticos sucessivos em período de tempos curtos. Os resultados

computacionais demonstram que a utilização da técnica de otimização, BD, é razoável para equilibrar contra diferentes cenários.

No artigo Zhu et al. (2019) apresenta um WOA melhorado baseado em computadores quânticos, para a resolução de um JSSP. O algoritmo foi submetido a uma análise da sua complexidade computacional, demonstração da convergência global e simulação num JSP de referência juntamente com outros dois algoritmos, GW e CS. Na simulação o algoritmo obteve melhor valor mínimo, médio e taxa de sucesso de otimização que os tradicionais algoritmos de SI provando assim a precisão e capacidade global do WOA apresentado em comparação com os algoritmos de SI.

Neste artigo, Kalshetty et al. (2020) apresenta GA para a resolução de JSP. Os autores utilizam quatro conjuntos de dados de referência para testar o desempenho dos GA propostos. Os testes mostram que o algoritmo proposto tem uma rápida convergência para a melhor solução do problema.

O objetivo do trabalho apresentado por Viana et al., (2020) é desenvolver uma abordagem que reduza o *makespan* no JSS. De forma a atingir esse objetivo foi utilizado GA com técnicas LS e operador *multi-crossover*. Para avaliar o desempenho dos algoritmos desenvolvidos foram corridos 58 JSSP com diferentes complexidades. O resultado desses testes foi positivo pois o método proposto final foi capaz de encontrar bons resultados de *makespan*.

Jedzejowicz & Wierzbowska (2020) propõem uma abordagem de resolução dos *travelling salesman problem* (TSP) e JSSP com SI na qual um conjunto de agentes tentam melhorar soluções da população de soluções existentes. *Mushroom-picking* foi o nome dado pelos autores ao seu algoritmo e este é uma meta heurística baseada na população com a implementação paralela de um ambiente computacional. O algoritmo criado teve uma boa performance ao produzir soluções ótimas, ou muito próximas, num período de tempo razoável.

Tabela 3- Tabela-Resumo de artigos sobre problemas de escalonamento

Artigo	Tipo de problema	Objetivo	Método de otimização
Antonio Cruz-Chávez et al., 2007	JSS	Minimização do <i>makespan</i>	NGM
Özgüven et al., 2010	FJS	Minimização do <i>makespan</i>	MILP
Aramon Bajestani & Beck, 2013	FJS	Maximizar a cobertura do voo ao longo de um longo prazo	BD
Zhu et al., 2019	JSS	Minimização do <i>makespan</i>	WOA; GW; CS; SI
Kalshetty et al., 2020	JSS	Minimização do tempo total da unidade de programação	GA
Viana et al., 2020	JSS	Minimização do <i>makespan</i>	GA+LS
Jedrzejowicz & Wierzbowska, 2020	TSP/JSS	Minimização do <i>makespan</i>	SI; Mushroom-picking

2.2 Aplicação do escalonamento no setor automóvel

Na indústria automóvel são realizadas, diariamente, manutenções e reparações a viaturas. O escalonamento é uma parte fundamental deste processo pois este influência na eficiência total das operações.

De forma a realizar o escalonamento da oficina o responsável tem então que resolver problemas de alocação de trabalhos a recursos, minimizando o tempo de paragem dos seus funcionários. Os recursos a ter em conta são principalmente os funcionários disponíveis e as competências e horários correspondentes a cada um deles, sendo que neste tipo de serviço, normalmente, cada viatura tem apenas um funcionário a realizar tarefas na mesma. Algumas restrições presentes neste tipo de problema são a quantidade de postos de trabalho disponíveis (elevadores, fossas e outras zonas de trabalho), ferramentas e máquinas disponíveis (máquina de carregamento de ar condicionado ou de alinhamento de direção) e disponibilidade e entrega de peças.

Devido à complexidade apresentada é de prever que um escalonamento deste tipo demore algum tempo a ser realizado manualmente e, devido às urgências muito ocorrentes neste tipo de serviço, haja uma grande probabilidade de necessidade de reescalonamento. Por isso, pode ser considerada essencial uma ferramenta de apoio à decisão, permitindo assim realizar o escalonamento mais rapidamente, manter dessa forma a oficina o mais eficiente possível e minimizar os atrasos de entrega das viaturas.

Um dos problemas deste serviço passa pela frequente necessidade de reescalonamento devido ao cancelamento e remarcação de manutenções ou reparações e marcações de última hora com maior nível de prioridade. Uma solução desenvolvida passa por deixar pequenos intervalos entre trabalhos e desta forma ser possível alterar as tarefas para diferentes horários caso surja algum problema na execução dessa tarefa. Porém esta abordagem implica, necessariamente, uma redução na eficiência tanto dos funcionários como do escalonamento realizado (Shivasankaran et al., 2013).

No escalonamento de uma oficina automóvel o objetivo principal é agendar todos os trabalhos, sujeito à alocação de recursos e restrições temporais. Objetivos secundários passam pela minimização do custo, visto todos os recursos terem um preço e alguns deles, como por exemplo os operadores um custo por unidade de tempo em que é alocado a uma tarefa (Srinivasan & Fabens, 1992). Outros objetivos que podem ser considerados são a minimização do tempo de conclusão dos trabalhos, o tempo médio de fluxo, o atraso nos trabalhos e custos de processamento (Shivasankaran et al., 2013).

2.2.1 Descrição de problemas de escalonamento no setor automóvel

Nesta secção serão descritos trabalhos de alguns autores que realizaram estudos de problemas de escalonamento especificamente no setor automóvel desde manutenção e reparação até à pintura. Ao longo desta análise serão relatadas as singularidades de cada problema revisto, objetivos e método, exato ou aproximado, utilizados pelos autores na sua resolução. No final será apresentada a Tabela 4 na qual se resume o que foi descrito ao longo deste subcapítulo.

No artigo Srinivasan & Fabens (1992) descrevem a formulação de uma base heurística com aplicação de escalonamento numa oficina automóvel. Este problema envolve escalonamento dos trabalhos de reparação nas viaturas contabilizando com restrições como disponibilidade dos funcionários, recursos e tempo da oficina. A resolução do problema passa por uma abordagem inteligente de geração e teste de alocações dos recursos às tarefas tendo em conta as restrições do sistema. Este escalonamento de tarefas e alocações de recursos são guiadas por um conjunto de regras e heurísticas escritas em linguagem *Prolog*. Ao longo do trabalho são discutidas diferentes

heurísticas, gerados e testados diferentes escalonamentos tentando criar um bom escalonamento no que diz respeito ao custo e tempo total agendado. Foram discutidos problemas de retrocesso no escalonamento e a solução passava pelo aumento de peso de tarefas não agendadas e tarefas que as precedem devido ao constrangimento de precedência. No final, após várias tentativas de soluções de escalonamento, os autores ficam com um programa que ajuda na geração de potencialmente boas e viáveis soluções.

Shivasankaran et al. (2013) neste artigo utiliza a técnica de SA para resolver problemas complexos de escalonamento de operadores e veículos numa oficina automóvel. O algoritmo utilizado pelos autores é testado com diversas definições de restrições e a qualidade do mesmo supera os resultados reportados pela literatura com alta velocidade e precisão de convergência. A metodologia proposta obteve uma elevada taxa de sucesso conseguindo resolver problemas para os quais outras metodologias falham. As soluções encontradas com esta técnica têm uma boa aproximação à ideal e rápida resolução computacional. O autor ainda sugere que este tipo de método pode ser hibridizado com outras técnicas heurísticas de forma a alcançar soluções ainda mais otimizadas e com melhor tempo computacional.

Shivasankaran & Senthilkumar (2014) no seu artigo tratam do escalonamento ótimo dos mecânicos numa oficina de reparação automóvel. Para o realizar utilizaram *artificial neural network* em *MATLab* o que consideraram que foi um sucesso. O algoritmo foi capaz de alocar os funcionários respondendo a todas as restrições impostas. Segundo os autores este método é bastante fiável em oficinas ou indústrias onde os trabalhos forem frequentemente repetidos. Graças aos seus resultados concluem que esta técnica apresenta uma maior precisão que o escalonamento manual e por isso é benéfica para as oficinas automóveis.

Haan (2016) na sua tese cria vários algoritmos de forma a compará-los na resolução do JSSP. Estes algoritmos tinham que atribuir todas as tarefas de um dia aos mecânicos disponíveis tendo em conta os tempos de entrega das viaturas, disponibilidade dos seus mecânicos e entrega das peças necessárias. Os algoritmos utilizados pelos autores foram, apenas *Hill climbing*, GA com e sem *Hill climbing*, dois diferentes algoritmos de PSO com e sem *Hill climbing*, ACO com e sem *Hill climbing* e TS. Estes algoritmos foram submetidos a dois testes, um em relação à sua velocidade computacional e outro relativo ao seu desempenho na resolução dos problemas. Após a realização de ambos os testes os autores concluem que o algoritmo GA com *Hill climbing* é claramente o mais adequado para estes problemas. A nível de desempenho na resolução do problema apenas o TS supera, ligeiramente, o GA com *Hill climbing*. Em relação à sua velocidade de resolução computacional o GA com *Hill climbing* é ligeiramente superado por alguns algoritmos nas menores classes de problemas (25, 50 e 75) no entanto nos problemas de maior dimensão (100) permanece o mais rápido. Outras conclusões retiradas pelos autores são que a incorporação do *Hill climbing* melhorou o

desempenho em praticamente todos os algoritmos e que alguns algoritmos como ACO e PSO apesar de serem bons algoritmos não se adequam a este tipo de problemas devido ao desempenho que demonstraram.

Neste artigo Lewandowski & Olszewska (2020) apresenta uma nova solução para o escalonamento automático de tarefas de forma a ajudar a indústria automóvel na gestão eficiente do tempo dos funcionários e na melhoria da eficácia das tarefas de serviço e manutenção dos veículos. A abordagem desenvolvida passa por um conjunto de aplicações *web* interligadas com um controlador de visão de modelo baseado no conhecimento especializado, regras lógicas temporais de forma a automatizar a distribuição da carga de trabalho pelos funcionários. Este baseia-se em duas principais aplicações, uma para gerir um banco de dados de novas ou já existentes tarefas e outra para agendar e exibir as tarefas atribuídas para as estações de trabalho correspondentes na ordem apropriada e dentro dos intervalos programados. Estas tarefas são automaticamente ordenadas e expostas através de televisores nas várias estações de trabalho da oficina estabelecendo assim uma comunicação com os funcionários. Este sistema foi implementado dentro da *Arnold Clark Automobiles Ltd Company* com sucesso conseguindo em média um aumento de cerca de 10% no número máximo de tarefas acabadas. O sistema de programação inteligente conseguiu então a simplificação do departamento, o aumento do fluxo de tarefas realizadas, a poupança monetária para a empresa em que foi aplicada e um impacto ambiental positivo devido á redução do uso de papel com a aplicação dos televisores.

Winter & Musliu (2021) no seu trabalho propõem a programação de restrição para resolver problemas de escalonamento numa oficina automóvel de pintura. Os autores optam pela utilização de métodos exatos e através dos resultados concluíram que estes foram bem sucedidos para problemas de pequeno ou médio porte. A vantagem deste tipo de métodos é a possibilidade de fornecerem soluções ótimas que anteriormente eram desconhecidas para certas instâncias. Os testes mostram que os melhores resultados podem ser obtidos utilizando um modelo baseado em *deterministic finite automats*. Concluíram ainda que com base no modelo desenvolvido o programa *Chuffed* produzia melhores resultados que o *Gurobi* ou *CPLEX* para a maioria das instâncias.

Tabela 4- Tabela-Resumo de artigos sobre problemas de escalonamento no setor automóvel

Artigo	Tipo de problema	Tipo de oficina	Objetivo	Método de otimização
Srinivasan & Fabens, 1992	JSS	Manutenção e reparação	Minimização do <i>makespan</i> ; Minimização do custo total	Heurístico
Shivasankaran et al., 2013	JSS	Manutenção e reparação	Minimização do tempo de fluxo total; Equilíbrio da carga de trabalho; Minimização do custo total	SA
Shivasankaran & Senthilkumar, 2014	JSS	Manutenção e reparação	Minimização do <i>makespan</i> ; Minimização do custo total	Artificial Neural Network
Haan, 2016	JSS	Manutenção e reparação	-	GA; PSO; ACO; TS
Lewandowski & Olszewska, 2020	JSS	Manutenção e reparação	Minimização do custo total	Heurístico (Least Earliest Completion Time First)
Winter & Musliu, 2021	JSS	Pintura	Minimização de troca de cor numa sequência; Minimização dos transportes	ILP

2.3 Escalonamento académico e real

Como é expectável os modelos criados academicamente apenas podem descrever parte do problema encontrado no mundo real e por isso a sua utilidade está limitada a um certo campo de aplicação (Kallrath, 2004).

Na sua literatura Pinedo (2012) refere algumas das diferenças encontradas usualmente entre os problemas académicos e os encontrados na realidade:

- Os modelos teóricos geralmente assumem que existem determinados trabalhos a serem agendados, e após o escalonamento dos mesmos o problema fica resolvido. No mundo real o escalonamento é feito sem a certeza do futuro próximo pois, tal como já mencionado anteriormente, podem chegar novos trabalhos que necessitam também de ser agendados. Por isso devem ser tomadas algumas providências tendo em conta a possibilidade de necessidade de escalonamento de eventos inesperados, como por exemplo, contar com tempo de inatividade no escalonamento inicial.
- Usualmente, os modelos teóricos não assumem a necessidade de reescalonamento. Na prática, depois de realizado o escalonamento, eventos inesperados podem acontecer exigindo assim alterações ao escalonamento inicial.
- Os ambientes de trabalho na literatura são mais simplificados que os ambientes reais não contabilizando, desta forma, com todas as restrições existentes na execução de um trabalho.
- Nos modelos matemáticos os pesos de cada trabalho são fixos, no entanto na realidade estes pesos podem variar consoante o tempo. Assim, um trabalho inicialmente com baixo nível de prioridade pode, eventualmente, passar a ser de alta prioridade devido a inúmeros fatores.
- Os modelos retratados na literatura nem sempre levam em conta as restrições de disponibilidade das máquinas. Assim assumem sempre a disponibilidade das mesmas. Na prática estas nem sempre estão disponíveis por razões de manutenção ou falha.
- A máquina ou ferramenta definida no escalonamento pode nem sempre ser utilizada na vida real. Devido a algum motivo que possa ocorrer pode haver a necessidade de executar a tarefa numa diferente máquina ou ferramenta podendo desta forma alterar os tempos e custos do trabalho.
- A grande parte dos problemas teóricos são baseados em modelos com apenas um critério a ser otimizado. Na prática, o responsável do escalonamento tem que contabilizar com vários critérios a serem otimizados e o peso de cada um desses critérios pode variar com o tempo.

Para além de todas as diferenças mencionadas por Pinedo dentro das oficinas existe um fator importante que não é contabilizado nos escalonamentos em contexto

académico que é o facto de uma viatura entrar na oficina para realizar um determinado número de tarefas e a meio da sua execução ser necessário acrescentar tarefas por se verificar que, por exemplo, um componente estava danificado.

Devido à complexidade apresentada por estes problemas no mundo real, foi necessário os investigadores desta matéria reduzirem a complexidade do mesmo, diminuindo ou simplificando o problema e restrições associadas a este através de pressupostos (Sarker & Newton, 2007).

DESENVOLVIMENTO

3.1 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO

3.2 CRIAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

3.4 FUNCIONAMENTO E INTERFACE DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

3 DESENVOLVIMENTO

De forma a ajudar na resolução de alguns dos problemas oficiais como o planeamento de recursos humanos e gestão de postos de trabalho será desenvolvido uma ferramenta de apoio à decisão. Essa ferramenta será construída com base no modelo de programação inteira mista já desenvolvido por Özgüven et al (2010) e adaptado aos nossos objetivos.

3.1 Formulação matemática do modelo

Para desenvolver o sistema de apoio à decisão para escalonamento de viaturas foi tido por base o modelo matemático que se encontra no artigo “*Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility*” de Özgüven et al (2010) e adaptado ao problema em questão. Foram também acrescentadas restrições para o sistema ser capaz de não só efetuar o planeamento oficial dos recursos humanos, como também efetuar o planeamento oficial dos postos de trabalho garantindo que quando o funcionário é designado para uma tarefa tem um posto de trabalho disponível para a efetuar. O modelo de programação linear apresentado tem como objetivo formular a programação de recursos humanos e postos de trabalho com as seguintes premissas:

- Cada tarefa só pode ser realizada por um funcionário;
- Apenas pode trabalhar um funcionário por viatura em simultâneo;
- Todas as peças são entregues corretamente e no tempo devido;
- O funcionário apenas começa a trabalhar na viatura depois da chegada da mesma;
- Tempos de pausas para lanches e limpezas oficiais são ignorados;
- Todos os funcionários estão disponíveis para efetuar tarefas, ou seja, não é contabilizado férias, baixas e folgas;
- Tempos de preparação e movimentação das viaturas são incluídos nos tempos de execução das tarefas;
- Todas as tarefas decorrem conforme o planeado, sem irregularidades/ocorrências;
- As datas de entrada e saída da viatura têm de ser cumpridas.

Em seguida é apresentada a função objetivo assim como todos os índices, conjuntos, parâmetros, variáveis de decisão e restrições necessárias para a composição do modelo matemático pretendido.

Índices e conjuntos:

i	viaturas ($i \in I$);
j	operações ($j, j' \in J$);
k	operadores ($k \in M$);
n	postos de trabalho ($n \in N$);
I	conjunto de viaturas;
J	conjunto de operações;
M	conjunto de operadores;
N	conjunto de postos de trabalho;
J_i	conjunto de operações da viatura i , ($J_i \subseteq J$);
M_j	conjunto de operadores que podem processar a operação j , ($M_j \subseteq M$);
N_j	conjunto de postos de trabalho em que a operação j pode ser processada, ($N_j \subseteq N$);
$M_j \cap M_{j'}$	conjunto de operadores que podem processar as operações j e j' ;
$N_j \cap N_{j'}$	conjunto de postos de trabalho onde as operações j e j' podem ser processadas.

Parâmetros:

t_{jk}	tempo de processamento da operação j pelo operador k ;
L	um número grande;
a_j	data de entrada da tarefa j ;
d_j	data de saída da tarefa j .

Variáveis de Decisão:

X_{jk}	1, se o operador k for escolhido para a operação j ; 0, caso contrário;
S_{jk}	tempo de início da operação j pelo operador k ;
C_{jk}	tempo de conclusão da operação j pelo operador k ;
$Y_{jj',k}$	1, se a operação j preceder a operação j' no operador k ; 0, caso contrário;
C_j	tempo de conclusão da tarefa j ;
C_{max}	tempo máximo de conclusão de todas as viaturas (<i>makespan</i>);
R_{jn}	1, se o posto de trabalho n for escolhido para a operação j ; 0, caso contrário;
Sn_{jn}	tempo de início da operação j no posto de trabalho n ;
Cn_{jn}	tempo de conclusão da operação j no posto de trabalho n ;
$Yn_{jj',n}$	1, se a operação j preceder a operação j' no posto de trabalho n ; 0, caso contrário.

Função Objetivo:

Minimizar C_{max}

Restrições:

$$\sum_{k \in M_j} X_{jk} = 1 \quad \forall j \in J \quad (1)$$

$$S_{jk} + C_{jk} \leq (X_{jk}) \cdot L \quad \forall j \in J, \forall k \in M_j \quad (2)$$

$$C_{jk} \geq S_{jk} + t_{jk} - (1 - X_{jk}) \cdot L \quad \forall j \in J, \forall k \in M_j \quad (3)$$

$$S_{jk} \geq C_{j'k} - (Y_{jj'k}) \cdot L \quad \forall j < j', \quad \forall j \in J, \forall j' \in J, \forall k \in M_j \cap M_{j'}, \quad (4)$$

$$S_{j'k} \geq C_{jk} - (1 - Y_{jj'k}) \cdot L \quad \forall j < j', \quad \forall j \in J, \forall j' \in J, \forall k \in M_j \cap M_{j'}, \quad (5)$$

$$\sum_{k \in M_i} S_{jk} \geq \sum_{k \in M_i} C_{j-1,k} \quad \forall i \in i, \forall j \in J_i \quad (6)$$

$$(1 - X_{jk}) \cdot L + S_{jk} \geq a_j \quad \forall j \in J, \forall k \in M_j \quad (7)$$

$$C_j \leq d_j \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$C_j \geq \sum_{k \in M_i} C_{jk} \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$C_{max} \geq C_j \quad \forall j \in J \quad (10)$$

$$\sum_{n \in N_j} R_{jn} = 1 \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$\sum_n R_{jn} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (12)$$

$$S_{jn} + C_{jn} \leq (R_{jn}) \cdot L \quad \forall j \in J, \forall n \in N \quad (13)$$

$$\sum_{k \in M_i} S_{jk} \geq \sum_{n \in N_i} S_{jn} \quad \forall i \in i, \forall j \in J \quad (14)$$

$$\sum_{k \in M_i} C_{jk} \leq \sum_{n \in N_i} C_{jn} \quad \forall i \in i, \forall j \in J \quad (15)$$

$$S_{jn} \geq C_{j'n} - (Y_{jj'n}) \cdot L \quad \forall j < j', \quad \forall j \in J, \forall j' \in J, \forall n \in N_j \cap N_{j'}, \quad (16)$$

$$Sn_{j,n} \geq Cn_{j,n} - (1 - Yn_{jj',n}) \cdot L \quad \forall j < j', \forall j \in J, \forall j' \in J, \forall n \in N_j \cap N_{j'}, \quad (17)$$

$$\sum_{n \in N_i} Sn_{j,n} \geq \sum_{n \in N_i} Cn_{j-1,n} \quad \forall i \in I, \forall j \in J_i \quad (18)$$

e

$$X_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, \forall k \in M_j$$

$$S_{jk} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall k \in M_j$$

$$C_{jk} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall k \in M_j$$

$$Y_{jj',k} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, \forall j' \in J, \forall k \in M_j \cap M_{j'}$$

$$R_{ijn} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, \forall n \in N_j$$

$$Sn_{j,n} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall n \in N_j$$

$$Cn_{j,n} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall n \in N_j$$

$$Yn_{jj',n} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, \forall j' \in J, \forall n \in N_j \cap N_{j'}$$

$$C_j \geq 0 \quad \forall j \in J$$

As restrições (1) garantem que a operação j é atribuída a apenas um operador; As restrições (2) definem que os tempos iniciais e finais do operador k são iguais a zero, se a operação j não for atribuída ao operador k . As restrições (3) garantem que a diferença entre os tempos iniciais e finais é no mínimo igual ao tempo de processamento no operador k . As restrições (4) e (5) garantem que a operação j e a operação j' não podem ser feitas ao mesmo tempo em qualquer operador do conjunto $M_j \cap M_{j'}$. As restrições (6) e (18) garantem que as relações de precedência entre as operações de uma viatura não são violadas, ou seja, a operação j não é iniciada antes da operação $j - 1$ ser concluída. As restrições (7) garantem que o início da reparação começa depois de a viatura entrar na oficina. As restrições (8) garantem que a data de conclusão não excede a data de entrega da viatura. As restrições (9) determinam os tempos de conclusão das viaturas e as restrições (10) determinam o makespan do escalonamento. As restrições (11) e (12) garantem que a operação j é atribuída apenas a um posto de trabalho. As restrições (13) definem que os tempos iniciais e finais do posto de trabalho n são iguais a zero, se a operação j não for atribuída ao posto de trabalho n . As restrições (14) e (15) garantem que os tempos de início e conclusão são iguais para o operador e posto de trabalho escolhidos para a realização da tarefa j . As

restrições (16) e (17) garantem que a operação j e a operação j' não podem ser feitas ao mesmo tempo em qualquer operador do conjunto $N_j \cap N_{j'}$.

3.2 Criação do sistema de apoio à decisão

Tendo em conta o modelo matemático construído anteriormente, e recorrendo à utilização das ferramentas *Excel* e *CPLEX*, foi elaborado um programa que o resolve. Este tem como *input* todos os dados relativos à oficina e às viaturas a planear, e como *output*, devolve um planeamento ótimo para os recursos humanos e outro para os postos de trabalho. Ambos os planeamentos que o programa devolve têm que ser compatíveis em relação aos tempos de início e conclusão de uma tarefa, ou seja, para os mesmos tempos de início e conclusão da tarefa tem que ser alocado um funcionário e um posto de trabalho.

3.2.1 Testes computacionais

Após a criação do programa foram utilizados dados adaptados do artigo “*Repair Shop Job Scheduling with parallel operators and multiple constraints using simulated annealing*” de Shivasankaran et al (2013) de forma a verificar o seu funcionamento.

O problema de teste consiste num conjunto de viaturas, i , onde cada uma tem um conjunto de tarefas, j , com uma sequência obrigatória definida. Essas tarefas tinham que ser distribuídas pelos operadores com aptidões para as fazer, cumprindo com as datas de chegada e entrega da viatura e com o objetivo de minimizar o makespan. Neste artigo cada operador tinha aptidão para efetuar todo o tipo de tarefas, no entanto o tempo de processamento podia variar, ou seja, um operador k podia demorar menos tempo a processar a mesma tarefa j que um operador k' .

Na Tabela 5 são apresentados os tempos de chegada, tipos de tarefa e sequência que será necessário efetuar em cada viatura. De notar que a sequência apenas é obrigatória dentro de cada viatura e não relativa entre as viaturas.

Tabela 5- Tempos de chegada, tipos de tarefa e sequencia de cada viatura

Viatura	Tempo de chegada	Tipo de Tarefa						
		1	2	3	4	5	6	7
1	-	-	-	-	-	1	-	2
2	-	3	4	-	-	5	-	-
3	4	6	-	7	-	-	8	-
4	5	9	10	-	-	-	-	-
5	5	-	-	-	11	12	-	-

Na Tabela 6 são apresentados os tempos de processamento de cada operador em relação a cada tipo de tarefa a efetuar.

Tabela 6- Tempo de processamento de cada operador para cada tipo de tarefa

Operador	Tipo de Tarefa						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	2	1	2	1	3
2	3	3	4	2	5	2	5
3	3	3	4	2	3	2	3
4	1	2	2	1	3	1	3
5	3	3	2	1	3	1	3

A solução apresentada pelo programa encontra-se na Tabela 7. Esta é a solução ótima para o objetivo de diminuir o makespan, respeitando as restrições de sequência das tarefas e tempo de chegada de cada viatura.

Tabela 7- Resultado para a instância de teste

Viatura	Tarefa	Operador	Duração	Início	Conclusão
1	1	1	2	0	2
1	2	3	3	2	5
2	3	4	1	0	1
2	4	4	2	1	3
2	5	1	2	3	5
3	6	4	1	4	5
3	7	5	2	5	7
3	8	5	1	7	8
4	9	4	1	5	6
4	10	4	2	6	8
5	11	1	1	5	6
5	12	1	2	6	8

De forma a visualizar mais facilmente a solução apresentada na Tabela 7 é apresentado um cronograma na Figura 7.

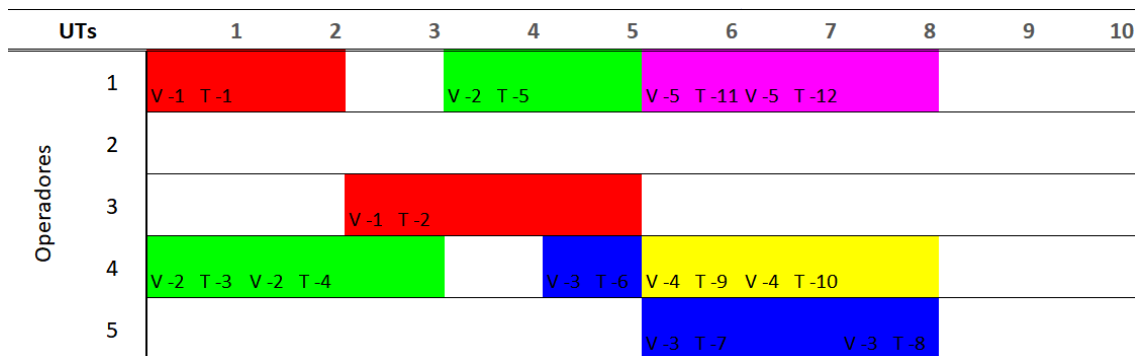


Figura 7- Cronograma dos operadores para a instância de teste

Utilizando a instância do artigo obtemos um makespan de 8 unidades de tempo. No seu artigo o autor obteve um makespan de 11 unidades de tempo, no entanto a sua função objetivo passava por diminuir o custo total em vez do makespan.

3.3 Implementação do sistema de apoio à decisão

Após a verificação do modelo e de forma a simular a utilização deste programa no mundo real o programa será corrido com valores reais os quais foram obtidos através de uma oficina. O estabelecimento selecionado trata-se de uma oficina *First Stop* localizada em Vale de Cambra denominada por Auto Garagem Arrifaninha, a qual se dedica a todo o tipo de serviços do ramo automóvel, exceto colisão e pintura. Serão então utilizados dados oficiais sobre o número de operadores em conjunto com os seus graus de eficiência, quantidades e tipos de postos de trabalho disponíveis. Da mesma forma foram recolhidos, junto com o gerente dessa mesma oficina, dados sobre a entrada e recolha de viaturas assim como quais as tarefas que essas mesmas irão executar. Depois dessa recolha de dados será utilizado um portal ao qual essa oficina tem acesso para retirar os tempos de orçamento da efetuação dessas tarefas.

A oficina em questão tem portas abertas desde as 8 horas até às 18 horas, no entanto cada funcionário tem um horário de trabalho com uma duração de 8 horas. Devido ao modelo desenvolvido não contabilizar horas de almoço e lanche o horário tanto da oficina como dos seus funcionários foi simplificado para um horário de funcionamento das 8 horas às 16 horas. Nesta simulação foi considerado que cada unidade temporal representa 5 minutos, ou seja, diariamente temos 96 unidades temporais disponíveis.

3.3.1 Dados relativos à oficina em questão

Como já mencionado anteriormente a oficina em questão realiza todo o tipo de serviços no ramo automóvel, exceto colisão e pintura. Nesta simulação serão considerados os 10 tipos de tarefas apresentados na Tabela 8. Os tipos de tarefa relacionados com o ar condicionado estão divididos em duas partes, pois mais de 50% do tempo que é despendido neste tipo de trabalho não é necessária a comparência de um funcionário pois a máquina trabalha autonomamente. Dessa forma o AC1 representa o trabalho realizado pelo funcionário e o AC2 representa o trabalho realizado pela máquina.

Tabela 8- Tipos de tarefas

1	Suspensão
2	Travagem
3	Reparação de Motor
4	Correia de Distribuição
5	Transmissão
6	Pneus
7	Alinhamento
8	Manutenção
9	AC1
10	AC2

A oficina tem ao seu dispor 6 operadores com diferentes capacidades e eficiências para desenvolver todas as tarefas necessárias. Na Tabela 9 encontra-se representada o grau de eficiência de determinado operador desenvolver um certo tipo de tarefa. O valor apresentado na tabela representa a percentagem de tempo que o operador consome a executar determinada tarefa em relação ao tempo que foi orçamentado. O operador 7 será sempre representado com 7* pois este é um operador fictício que irá representar o tempo que a máquina do ar condicionado funcionará de forma autónoma.

Tabela 9- Grau de eficiência de cada operador em cada tipo de tarefa

		Tipos de tarefas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Operador	1	0,80	0,80	1,10	0,90	0,80	1,10	-	0,90	-	-
	2	0,80	0,95	0,85	0,80	0,85	-	-	0,90	1,00	-
	3	-	1,10	-	-	-	1,10	-	0,80	-	-
	4	1,00	1,00	-	-	-	0,80	0,80	1,00	-	-
	5	0,80	0,90	1,20	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	1,00	-
	6	1,10	1,00	-	1,20	1,20	1,00	1,10	1,10	-	-
	7*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

A nível de postos de trabalho para a execução dos tipos de tarefas referidas acima a oficina disponibiliza de 8 elevadores, 2 fossas, 1 máquina de alinhar e 1 máquina de carregamento de ar condicionado. A Tabela 10 representa a capacidade de cada tipo de tarefa ser efetuada em cada posto de trabalho, 1 representando a capacidade desse tipo ser efetuada no posto de trabalho.

Tabela 10- Tipo de tarefa que pode ser efetuada em cada posto de trabalho

		Tipos de tarefas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Elevador 1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-
Elevador 2	2	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-
Elevador 3	3	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-
Elevador 4	4	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-
Elevador 5	5	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-
Elevador 6	6	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-
Elevador 7	7	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-
Elevador 8	8	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-
Fossa 1	9	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
Fossa 2	10	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
Máquina de alinhar	11	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Máquina de AC	12	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1

3.3.2 Planeamento de segunda-feira

Após a introdução de todos os dados relativos à oficina iniciamos o planeamento da semana. Inicialmente são introduzidos no programa os dados da data de entrada, entrega e tempos orçamentados para cada tipo de tarefa de todas as viaturas que deram entrada na segunda-feira como demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11- Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 2ª feira

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	96	-	12	-	-	-	10	-	-	-	-
2	0	96	-	14	-	-	-	18	12	-	-	-
3	0	192	-	-	-	-	30	-	10	-	-	-
4	0	96	-	-	24	-	-	10	-	16	-	-
5	0	192	-	-	42	-	-	-	-	-	6	9
6	0	192	-	-	144	-	-	-	-	-	-	-
7	0	48	-	-	-	-	12	-	10	-	-	-
8	0	192	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
9	0	192	27	-	-	-	-	-	-	16	6	9
10	0	192	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-
11	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-
12	48	96	-	-	-	-	-	-	-	12	6	9
13	0	192	-	-	-	-	-	18	10	-	-	-
14	0	48	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
15	48	96	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
16	0	96	6	-	-	-	12	-	10	16	-	-
17	0	96	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
18	0	96	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-
19	0	96	-	-	-	-	12	-	10	-	-	-
20	0	96	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-

De seguida é introduzido no programa a sequência de tarefas definida para cada uma das viaturas como apresentado na Tabela 12.

Tabela 12- Sequência das tarefas por viatura na 2ª feira

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-
2	-	1	-	-	-	2	3	-	-	-
3	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
4	-	-	1	-	-	2	-	3	-	-
5	-	-	1	-	-	-	-	-	2	3
6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
9	3	-	-	-	-	-	-	4	1	2
10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	2	3	1	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3
13	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
16	2	-	-	-	3	-	4	1	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
18	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
20	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-

Na Tabela 13 temos o planeamento devolvido pelo programa para as viaturas que deram entrada segunda-feira.

Tabela 13-Resultado para a instância de 2ª feira

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
1	1	2	4	1	12,0	0,0	12,0	Concluída
	2	6	4	4	8,0	12,0	20,0	Concluída
2	1	2	3	1	15,4	12,8	28,2	Concluída
	2	6	3	3	19,8	28,2	48,0	Concluída
	3	7	4	11	9,6	78,4	88,0	Concluída
3	1	5	1	2	24,0	90,4	114,4	Interrompida
	2	7	4	11	8,0	114,4	122,4	Transita
4	1	3	1	8	26,4	46,8	73,2	Concluída
	2	6	6	1	10,0	73,2	83,2	Concluída
	3	8	3	1	12,8	83,2	96,0	Concluída
5	1	3	1	7	46,2	0,0	46,2	Concluída
	2	9	5	12	6,0	46,2	52,2	Concluída
	3	10	7	12	9,0	88,8	97,8	Interrompida
6	1	3	2	5	122,4	0,0	122,4	Interrompida
7	1	5	6	8	14,4	0,0	14,4	Concluída
	2	7	4	11	8,0	20,0	28,0	Concluída
8	1	8	3	1	12,8	109,6	122,4	Transita
9	1	9	5	12	6,0	0,0	6,0	Concluída
	2	10	7	12	9,0	6,0	15,0	Concluída
	3	1	5	4	21,6	52,2	73,8	Concluída
	4	8	3	9	12,8	96,8	109,6	Transita
10	1	4	5	8	36,0	86,4	122,4	Interrompida
11	1	8	3	10	12,8	48,0	60,8	Concluída
	2	6	4	1	8,0	60,8	68,8	Concluída
	3	7	4	11	8,0	70,4	78,4	Concluída
12	1	8	3	10	9,6	60,8	70,4	Concluída
	2	9	5	12	6,0	73,8	79,8	Concluída
	3	10	7	12	9,0	79,8	88,8	Concluída
13	1	6	6	3	18,0	88,4	106,4	Interrompida
	2	7	4	11	8,0	106,4	114,4	Transita
14	1	8	4	1	16,0	28,2	44,2	Concluída
15	1	8	3	10	12,8	70,4	83,2	Concluída
16	1	8	3	9	12,8	0,0	12,8	Concluída
	2	1	1	2	4,8	73,6	78,4	Concluída
	3	5	1	4	9,6	78,4	88,0	Concluída
	4	7	4	11	8,0	88,0	96,0	Concluída
17	1	8	6	6	22,0	14,4	36,4	Concluída
18	1	3	5	10	36,0	6,0	42,0	Concluída
19	1	5	6	1	14,4	45,0	59,4	Concluída
	2	7	6	11	11,0	59,4	70,4	Concluída
20	1	6	4	2	14,4	44,2	58,6	Concluída

A Figura 8 e a Figura 9 demonstram um cronograma criado a partir do planeamento de segunda-feira de todos os operadores e outro de todos os postos de trabalho, respetivamente. Os cronogramas completos encontram-se em apêndice.

		Planeamento Oficial-Operadores															
		2ª Feira															
Operadores	Horas	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00
	UTs	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
	1	V-5 T-1							V-4 T-1					V-16	V-16 T-3		V-3 T-3
2	V-6 T-1																
3	V-16 T-1			V-2 T-1		V-2 T-2			V-11 T-1		V-12 T-1	V-15 T-1			V-4 T-3		
4	V-1 T-1		V-1 T-2	V-7 T-2	V-14 T-1			V-20 T-1			V-11 T-2	V-11 T-3	V-2 T-3		V-16 T-4		
5	V-9 T-1	V-18 T-1							V-5 T-2	V-9 T-3				V-12 T-2		V-10 T-1	
6	V-7 T-1		V-17 T-1						V-19 T-1	V-19 T-2			V-4 T-2		V-13 T-1		
7*		V-9 T-2													V-12 T-3	V-5 T-3	

Figura 8- Cronograma dos operadores para 2ª feira

		Planeamento Oficial-Postos de Trabalho															
		2ª Feira															
	Horas	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00
	UTs	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
Elevador	1	V-1 T-1		V-2 T-1		V-14 T-1			V-19 T-1		V-11 T-2		V-4 T-2		V-4 T-3		
	2								V-20 T-1					V-16 T-2			V-3 T-3
	3					V-2 T-2											V-13 T-1
	4			V-1 T-2						V-9 T-3				V-16 T-3			
	5	V-6 T-1															
	6			V-17 T-1													
	7	V-5 T-1															
	8	V-7 T-1							V-4 T-1							V-10 T-1	
Fossa	9	V-16 T-1															
	10		V-18 T-1						V-11 T-1	V-12 T-1	V-15 T-1						
Alinhar	11				V-7 T-2					V-19 T-2	V-11 T-3	V-2 T-3		V-16 T-4			
AC	12	V-9 T-2	V-9 T-2						V-5 T-2					V-12 T-1	V-12 T-3	V-5 T-3	

Figura 9- Cronograma dos postos de trabalho para 2ª feira

Através dos dados devolvidos para segunda-feira pelo programa, foi calculada a percentagem de utilização dos recursos tanto humanos como físicos disponíveis na oficina. Estes dados foram processados de forma a concluir-se qual seria o tipo de recurso limitante. Para o cálculo dos recursos humanos apenas foram contabilizados os 6 primeiros operadores pois o sétimo operador é um operador fictício. Os resultados

apresentam-se na Tabela 14 podendo se verificar que o recurso limitante nesse dia foi o humano.

Tabela 14- Percentagem de utilização dos recursos para 2ª feira

	Percentagem Utilizada
Humanos	94,0%
Físicos	49,2%

3.3.3 Planeamento de terça-feira

Para inserir os dados no programa de modo a efetuar o planeamento de terça-feira o processo é idêntico ao de segunda-feira. No entanto, para além das viaturas que dão entrada nesse dia, foi tido em conta as viaturas que foram interrompidas ou transitaram do dia anterior, apresentadas na Tabela 15. Para as tarefas que foram interrompidas foi tido o cuidado de serem as primeiras a serem iniciadas pelo mesmo operador e posto de trabalho do dia anterior.

Tabela 15- Tarefas que foram interrompidas ou transitaram de 2ª feira

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Estado
3	1	5	1	2	Interrompida
	2	7	4	11	Transita
5	1	10	7	12	Interrompida
6	1	3	2	5	Interrompida
8	1	8	3	1	Transita
10	1	4	5	8	Interrompida
13	1	6	6	3	Interrompida
	2	7	4	11	Transita

Em ambos os casos o tempo de entrega definido anteriormente é diminuído em 96 unidades de tempo, o equivalente a 1 dia. Na Tabela 16 são apresentados os dados inseridos para o planeamento de terça-feira e na Tabela 17 a sequência de tarefas de cada viatura.

Tabela 16- Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 3ª feira

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Limite de Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0	96	-	-	-	-	19	-	10	-	-	-
5	0	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
6	0	96	-	-	27	-	-	-	-	-	-	-
8	0	96	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
9	0	96	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
10	0	96	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-
13	0	96	-	-	-	-	-	11	10	-	-	-
21	0	96	-	9	-	-	-	10	10	-	6	9
22	0	48	-	-	-	-	-	12	-	20	-	-
23	0	192	-	-	192	-	-	-	-	-	-	-
24	0	96	-	-	-	42	-	-	-	22	-	-
25	0	48	-	-	-	-	-	10	12	-	-	-
26	0	96	48	-	-	-	-	-	-	16	-	-
27	0	48	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
28	48	144	-	-	-	-	-	18	10	16	6	9
29	0	144	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-
30	0	48	-	-	-	-	-	-	-	16	6	9
31	48	96	24	-	-	-	-	-	12	-	-	-
32	24	96	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-
33	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-

Tabela 17- Sequência das tarefas por viatura na 3ª feira

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
21	-	3	-	-	-	4	5	-	1	2
22	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-
23	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
25	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
26	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
28	-	-	-	-	-	4	5	1	2	3
29	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3
31	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-
32	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	1	2	3	-	-

Na Tabela 18 temos o planeamento devolvido depois de correr o programa para as viaturas que não foram terminadas segunda-feira em conjunto com as que deram entrada terça-feira.

Tabela 18- Resultado para a instância de 3ª feira

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Técnico	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
3	1	5	1	2	15,2	0	18,4	Concluída
	2	7	6	11	11	21	32	Concluída
5	1	10	7	12	2	0	2	Concluída
6	1	3	2	5	22,95	0	26,4	Concluída
8	1	8	4	1	16	0	16	Concluída
9	1	8	3	7	12,8	42,5	55,3	Concluída
10	1	4	5	8	27	0	27	Concluída
13	1	6	6	3	11	0	11	Concluída
	2	7	4	11	8	46,4	54,4	Concluída
21	1	9	5	12	6	27	33	Concluída
	2	10	7	12	9	57,3	66,3	Concluída
	3	2	3	1	9,9	66,3	76,2	Concluída
	4	6	3	2	11	77	88	Concluída
	5	7	4	11	8	88	96	Concluída
22	1	6	3	7	13,2	0,5	13,7	Concluída
	2	8	3	6	16	13,7	29,7	Concluída
23	1	3	2	9	163,2	26,4	189,6	Interrompida
24	1	4	1	8	37,8	38,4	76,2	Concluída
	2	8	1	1	19,8	76,2	96	Concluída
25	1	6	6	4	10	11	21	Concluída
	2	7	6	11	13,2	33,2	46,4	Concluída
26	1	1	5	4	38,4	40	78,4	Concluída
	2	8	6	5	17,6	78,4	96	Concluída
27	1	8	3	10	12,8	29,7	42,5	Concluída
28	1	8	4	10	16	54,4	70,4	Concluída
	2	9	5	12	6	101,2	107,2	Transita
	3	10	7	12	9	107,2	116,2	Transita
	4	6	3	1	19,8	116,2	136	Transita
	5	7	4	11	8	136	144	Transita
29	1	5	1	2	43,2	100,8	144	Transita
30	1	8	1	1	14,4	18,4	32,8	Concluída
	2	9	5	12	6	33	39	Concluída
	3	10	7	12	9	39	48	Concluída
31	1	1	6	5	26,4	52	78,4	Concluída
	2	7	4	11	9,6	78,4	88	Concluída
32	1	2	4	3	21	24	45	Concluída
33	1	6	3	3	11	55,3	66,3	Concluída
	2	7	4	11	8	70,4	78,4	Concluída
	3	8	5	10	14,4	81,6	96	Concluída

A Figura 10 e a Figura 11 demonstram um cronograma criado a partir do planeamento de terça-feira de todos os operadores e outro de todos os postos de trabalho, respetivamente. Os cronogramas completos encontram-se em apêndice.

		Planeamento Oficial-Operadores															
		3ª Feira															
Horas		08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00
UTs		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
Operadores	1	V-3 T-1			V-30 T-1			V-24 T-1							V-24 T-2		
	2	V-6 T-1				V-23 T-1											
	3	V-22 T-1		V-22 T-2		V-27 T-1		V-9 T-1		V-33 T-1		V-21 T-3		V-21 T-4			
	4	V-8 T-1				V-32 T-1			V-13 T-2		V-28 T-1		V-33 T-2	V-31 T-2	V-21 T-5		
	5	V-10 T-1					V-21 T-1	V-30 T-2	V-26 T-1								
	6	V-13 T-1		V-25 T-1		V-3 T-2		V-25 T-2			V-31 T-1				V-26 T-2		
	7*	V-5 T-1						V-30 T-3			V-21 T-2						

Figura 10- Cronograma dos operadores para 3ª feira

		Planeamento Oficial-Postos de Trabalho															
		3ª Feira															
Horas		08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00
UTs		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
Elevador	1	V-8 T-1			V-30 T-1								V-21 T-3	V-24 T-2			
	2	V-3 T-1												V-21 T-4			
	3	V-13 T-1			V-32 T-1					V-33 T-1							
	4		V-25 T-1					V-26 T-1									
	5	V-6 T-1								V-31 T-1					V-26 T-2		
	6			V-22 T-2													
	7	V-22 T-1						V-9 T-1									
	8	V-10 T-1						V-24 T-1									
Fossa	9					V-23 T-1											
	10					V-27 T-1				V-28 T-1				V-33 T-3			
Alinhar	11				V-3 T-2		V-25 T-2		V-13 T-2				V-33 T-2	V-31 T-2	V-21 T-5		
AC	12	V-5 T-1				V-21 T-1	V-30 T-2	V-30 T-3			V-21 T-2						

Figura 11- Cronograma dos postos de trabalho para 3ª feira

Através dos dados devolvidos para terça-feira pelo programa, foi calculado, tal como para segunda-feira, a percentagem de utilização dos recursos. Os resultados apresentam-se na Tabela 19 podendo se verificar que o recurso limitante nesse dia foi o humano.

Tabela 19- Percentagem de utilização dos recursos para 3ª feira

Percentagem Utilizada	
Humanos	92,7%
Físicos	48,1%

O processo realizado para terça-feira foi repetido para os restantes dias da semana, tanto os dados como as soluções para cada dia encontram-se apresentados em apêndice.

3.3.4 Indicadores de desempenho da oficina

Após a utilização do programa para planear toda a semana com os dados recolhidos da oficina, serão analisados os indicadores de desempenho já calculados anteriormente. De forma a ter uma perceção da utilização dos elevadores foi também calculada a sua percentagem de utilização para cada um dos dias planeados. Na Tabela 20 encontram-se os valores de utilização diária dos recursos humanos, físicos e também dos elevadores em particular.

Tabela 20- Indicadores de desempenho da oficina em percentagem

	2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira	Média
Recursos Humanos	94,0	92,7	92,8	90,5	72,7	88,5
Recursos Físicos	49,2	48,1	47,9	47,6	38,7	46,3
Elevadores	51,4	45,8	49,6	53,7	42,9	48,7

Como se pode observar pela Tabela 20 em conjunto com a Figura 12 existe uma grande diferença de utilização dos indicadores humanos e físicos da empresa. Enquanto os recursos humanos se encontram geralmente perto dos 90pp, os recursos físicos encontram-se a cerca de 50pp, aproximadamente metade dos recursos humanos. Os elevadores representam dois terços dos recursos físicos e a sua utilização é próxima dos 50pp, idêntico ao que a globalidade de todos os recursos físicos representam. No dia de sexta-feira pode-se observar uma diminuição global na utilização de recursos por não haver mais viaturas a planear até ao final desse dia.

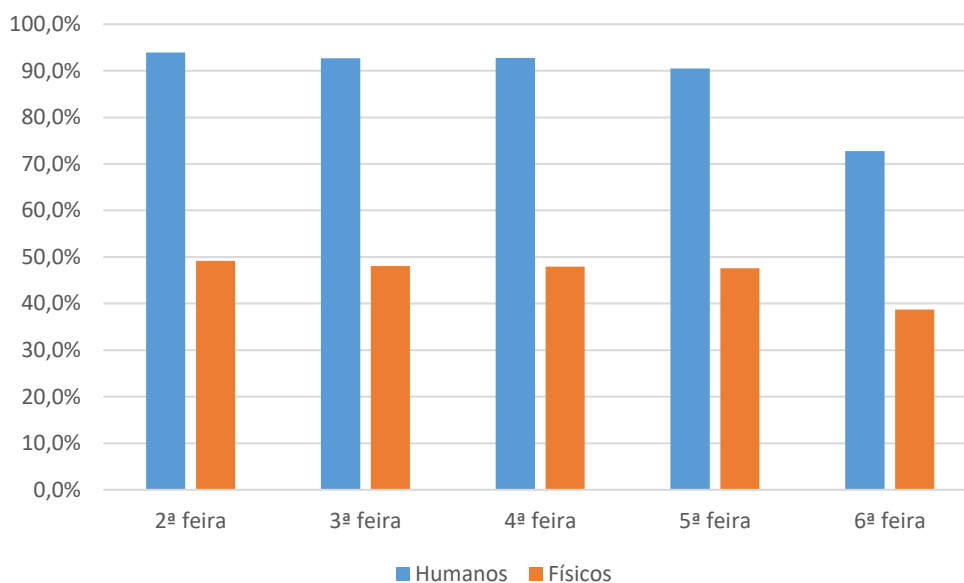


Figura 12- Utilização diária dos recursos humanos e físicos

Tendo em conta os resultados obtidos, foi realizado o planeamento de toda a semana novamente acrescentando apenas 2 novos operadores. O objetivo seria verificar se haveria melhoria dos indicadores de desempenho assim como dos valores da função objetivo com essa alteração. Na Tabela 21 encontra-se representada o grau de eficiência de determinado operador desenvolver um certo tipo de tarefa com a adição dos operadores 8 e 9 em relação aos da oficina estudada.

Tabela 21- Grau de eficiência de cada operador em cada tipo de tarefa para a oficina proposta

		Tipos de tarefas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Operador	1	0,80	0,80	1,10	0,90	0,80	1,10	-	0,90	-	-
	2	0,80	0,95	0,85	0,80	0,85	-	-	0,90	1,00	-
	3	-	1,10	-	-	-	1,10	-	0,80	-	-
	4	1,00	1,00	-	-	-	0,80	0,80	1,00	-	-
	5	0,80	0,90	1,20	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	1,00	-
	6	1,10	1,00	-	1,20	1,20	1,00	1,10	1,10	-	-
	7*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
	8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
	9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-

Todos os dados e soluções resultantes para cada dia da semana com o acrescento de 2 operadores encontram-se apresentados em apêndice.

Na Figura 13 encontra-se uma comparação dos valores de *makespan* obtidos entre a oficina real e a oficina proposta, com a adição de 2 operadores. Através da sua análise pode-se observar que os tempos de *makespan* da oficina proposta para os dias de quarta, quinta e sexta-feira apresentam uma melhoria em relação à oficina real, concluindo assim que a nova proposta apresenta benefícios para o problema em questão.

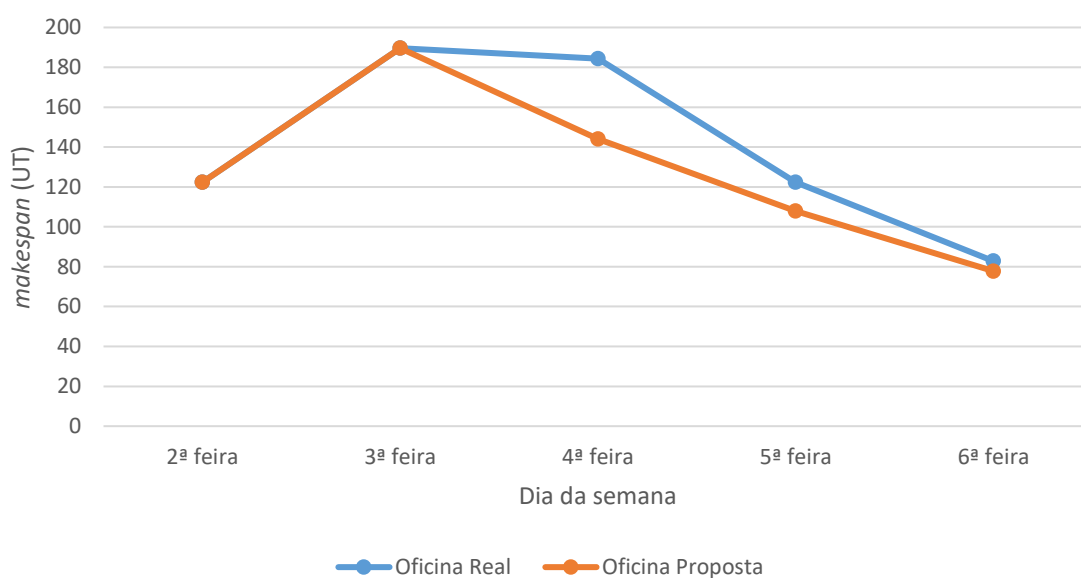


Figura 13- Comparação do *makespan* obtido para a oficina real e proposta

Na Tabela 22 pode-se observar os resultados dos indicadores de desempenho resultantes dos planeamentos com mais 2 operadores em relação à oficina real para cada um dos dias da semana, assim como a média semanal de cada recurso.

Tabela 22- Indicadores de desempenho da oficina com mais 2 operadores em percentagem

	2ª feira*	3ª feira*	4ª feira*	5ª feira*	6ª feira*	Média
Recursos Humanos	76,3	66,3	69,3	67,3	49,6	65,8
Recursos Físicos	52,4	46,5	48,6	46,4	35,4	45,9
Elevadores	50,4	49,2	61,4	53,9	36,2	50,2

A Figura 14 apresenta a diferença da utilização diária dos recursos humanos entre a oficina real e a proposta. Através da sua análise em conjunto com a Tabela 22 é possível observar que a utilização percentual dos recursos humanos diminuiu cerca de 20pp na globalidade enquanto os recursos físicos se manteram praticamente inalterados. Os recursos humanos continuam a ser os limitantes, no entanto a diferença em relação aos físicos diminuiu para 20pp.

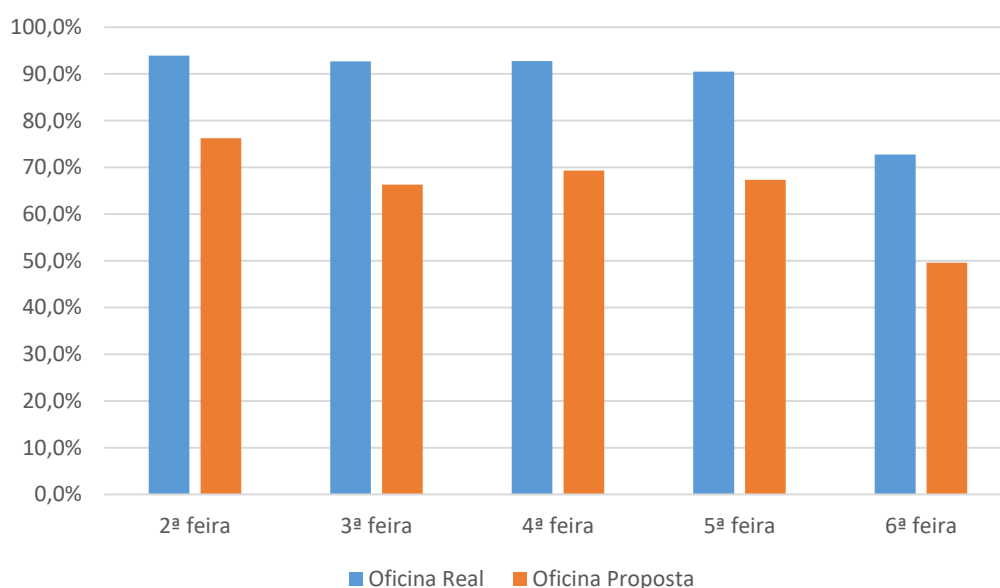


Figura 14- Utilização diária dos recursos humanos da oficina real e da proposta

3.3.5 Performance do modelo

Após correr o programa desenvolvido no *CPLEX* para cada uma das instâncias, o mesmo devolve alguns valores da sua performance. A diferença entre a solução obtida e a solução ótima (GAP), o tempo que o programa demorou a resolver o problema e o

resultado da função objetivo definida são alguns desses valores, que podem ser considerados relevantes para o estudo em questão e encontram-se apresentados na Tabela 23 para todos as instâncias resolvidas. O programa foi programado e corrido num computador portátil com um processador Intel i7-1185G7 de 3.00GHz na versão 22.1.0 do *CPLEX*.

Tabela 23- Performance do programa no *CPLEX* para as várias instâncias

Instância	GAP(%)	Nº de Tarefas	Nº de Viaturas	Tempo (segundos)	Função Objetivo
Teste	0	12	5	5,68	8,0
2ª feira	0	41	20	38,71	122,4
2ª feira*	0	41	20	22,12	122,4
3ª feira	0	39	20	26,47	189,6
3ª feira*	0	35	17	15,60	189,6
4ª feira	0	33	15	23,94	184,4
4ª feira*	0	32	15	16,63	144,0
5ª feira	0	31	14	10,94	122,4
5ª feira*	0	29	14	9,44	108,0
6ª feira	0	30	15	17,73	82,8
6ª feira*	0	28	14	8,54	77,8

Através dos resultados pode-se concluir que todas as soluções obtidas são ótimas, cumprindo assim a função objetivo que era minimizar o *makespan* (C_{max}) e que, geralmente, quanto maior o número de tarefas e viaturas maior é o seu tempo de resolução devido ao aumento exponencial de combinações.

3.4 Funcionamento e interface do sistema de apoio à decisão

Como já mencionado anteriormente o trabalho foi realizado em dois programas, *Excel* e *CPLEX*. O *Excel* é utilizado para leitura e escrita de dados enquanto o *CPLEX* é o programa que trabalha esses dados e escreve a solução ótima na folha de *Excel* destinada.

O primeiro passo para a utilização do sistema é a colocação dos dados da oficina como os recursos humanos e postos de trabalho disponíveis na respetiva folha, como demonstrado na Figura 15.

Capacidades e eficiências dos técnicos										Postos de trabalho onde o tipo de tarefa tj pode ser efetuada									
Técnicos		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	
	1	80%	80%	110%	90%	80%	110%		90%										
	2	80%	95%	85%	80%	85%			90%	100%									
	3		110%				110%		90%										
	4	100%	100%				80%	80%	100%										
	5	80%	90%	120%	100%	90%	90%	90%	100%										
	6	110%	100%		120%	120%	100%	110%	110%										
	7										100%								

		1	2	3	4	5	6	
Elevador 1	1	1	1	1	1	1	1	
Elevador 2	2	1	1	1	1	1	1	
Elevador 3	3	1	1	1	1	1	1	
Elevador 4	4	1	1	1	1	1	1	
Elevador 5	5	1	1	1	1	1	1	
Elevador 6	6	1	1	1	1	1	1	
Elevador 7	7	1	1	1	1	1	1	
Elevador 8	8	1	1	1	1	1	1	
Fossa 1	9	0	0	1	0	0	0	
Fossa 2	10	0	0	1	0	0	0	
Máquina de alinhar	11	0	0	0	0	0	0	
Máquina de ac	12	0	0	0	0	0	0	

Figura 15- Exemplo de introdução de dados sobre a oficina

Depois introduz-se a instância de veículos que se quer resolver juntamente com dados de tempos de entrada e entrega de viaturas assim como as tarefas e tempos orçamentados para as mesmas, Figura 16.

Viatura	Tempo de		Limite de	Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	96				68							
2	0	48							18	10		6	9
3	0	48						44					
4	0	96		12					10	10		6	9
5	0	96						48					
6	0	144					42				16		
7	0	96					30				16		
8	0	48			19								
9	48	96							10	10	16		
10	0	192				144							
11	0	144		18				24					
12	48	144		42								6	9
13	48	144			21				10	10	16		
14	0	96						24					
15	0	96							18	12			

Figura 16- Exemplo de introdução de dados de entrada, saída e tempos orçamentados para cada viatura

De seguida introduz-se a ordem das tarefas orçamentadas por viatura com a sequência de tarefas necessária a seguir, Figura 17.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		Sequência de tarefas por viatura											
2		Tipos de tarefas											
3		Viatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4		1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
5		2	-	-	-	-	-	3	4	-	1	2	
6		3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
7		4	5	-	-	-	-	3	4	-	1	2	
8		5	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
9		6	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-	
10		7	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-	
11		8	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
12		9	-	-	-	-	-	2	3	1	-	-	
13		10	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
14		11	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
15		12	3	-	-	-	-	-	-	-	1	2	
16		13	-	1	-	-	-	2	3	4	-	-	
17		14	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
18		15	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	
19													
20													
21													
22													

Figura 17- Exemplo de introdução da sequência de tarefas por viatura

Depois da introdução de todos os dados inicializa-se a utilização do *CPLEX*. No *CPLEX* foram criados dois programas, um de pré processamento e um de resolução do problema. O programa de pré processamento é utilizado para criar e escrever no Excel a lista de todas as tarefas a planear assim como todas as informações associadas às mesmas. Seguidamente abre-se o Excel e clica-se no botão que diz “Ordenar tarefas” conforme a Figura 18. Este botão está associado a um macro que coloca a lista de tarefas por ordem tendo em conta as precedências necessárias definidas anteriormente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2	Ref Tarefa	Viatura	Tipo de tarefa	Duração	Entrada	Saída	Tarefa				
3	1	1	3	68	0	96	1				
4	2	2	9	6	0	48	2				
5	3	2	10	9	0	48	1				
6	4	2	6	18	0	48	2				
7	5	2	7	10	0	48	3				
8	6	3	5	44	0	48	1				
9	7	4	9	6	0	96	2				
10	8	4	10	9	0	96	1				
11	9	4	6	10	0	96	2				
12	10	4	7	10	0	96	3				
13	11	4	1	12	0	96	1				
14	12	5	5	48	0	96	2				
15	13	6	4	42	0	144	3				
16	14	6	8	16	0	144	1				
17	15	7	4	30	0	96	1				
18	16	7	8	16	0	96	2				
19	17	8	2	19	0	48	1				
20	18	9	8	16	48	96	1				
21	19	9	6	10	48	96	2				
22	20	9	7	10	48	96	3				
23	21	10	3	144	0	192	4				
24	22	11	1	18	0	144	1				

Ordenar tarefas

Figura 18- Exemplo do processo de ordenar as tarefas

Após a ordenação da lista corre-se o segundo programa do *CPLEX* o qual vai resolver o problema tendo em conta a função objetivo e as restrições do modelo matemático criado e escrever uma lista de informações, idêntica à da Figura 19, capazes de construir um planeamento tanto para os recursos humanos como para os postos de trabalho.

O último passo passa por clicar no botão “Apagar Viaturas” caso tenha algum cronograma criado e criar os novos cronogramas através do botão “Adicionar Viaturas” tanto na folha relativa aos operadores como na dos postos de trabalho, Figura 19. Este tem um macro associado o qual através da lista escrita pelo *CPLEX* preenche o horário com diferentes cores para cada veículo e identifica qual a tarefa a ser realizada nesse momento.

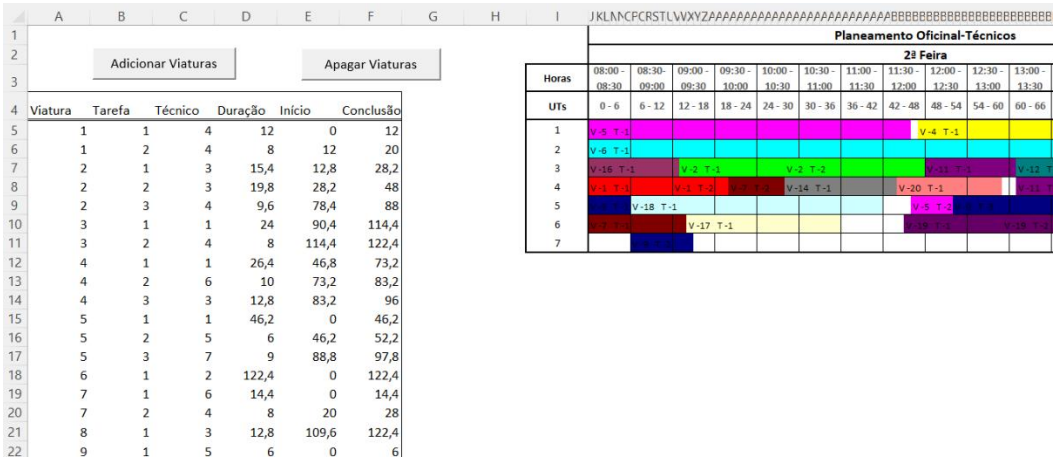


Figura 19- Exemplo de lista de informações escrita pelo *CPLEX* e demonstração de botões para criar cronograma

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo é elaborada uma análise crítica à dissertação desenvolvida, assim como a discriminação dos objetivos atingidos. Nessa sequência são ainda apresentadas as suas limitações e as propostas de trabalhos futuros.

4.1 Conclusões

O sistema de apoio à decisão criado demonstrou ser capaz de, tendo em conta as premissas definidas, cumprir com o objetivo de fornecer um planeamento ótimo para a função objetivo, tanto para os operadores como para os postos de trabalho em tempo útil. Esses planeamentos cumprem as várias restrições colocadas, como garantir que a viatura é finalizada até à data de entrega, apenas um operador pode trabalhar em simultâneo na viatura, quando alocado um operador para uma tarefa é também alocado um posto de trabalho e são respeitadas as precedências de todas as tarefas. O sistema é também capaz de criar cronogramas com o planeamento dos operadores e dos postos de trabalho, facilitando assim a leitura da solução.

Sobre a performance do sistema criado no *CPLEX* podemos dizer que foi satisfatória por não ter apresentado tempos de resolução demasiados elevados para as instâncias realizadas, no entanto conforme será expectável com o aumento de variáveis o número de combinações irá aumentar exponencialmente assim como o seu tempo de resolução.

Em relação aos resultados obtidos para a aplicação do sistema, com valores reais de uma oficina localizada em Vale de Cambra, pode-se verificar que o recurso limitante é o recurso humano pois, em todas as instâncias este se encontra próximo de 90pp utilizado enquanto os recursos físicos se encontram a cerca de 50pp. É natural haver alguma diferença entre os dois recursos de forma a precaver erros na entrega de peças ou algum erro na efetuação das tarefas que leve a que uma certa viatura tenha que ficar mais tempo por exemplo no elevador. No entanto a diferença apresentada pode ser considerada demasiada elevada indicando assim que a oficina deve contratar mais operadores. Dessa forma o sistema foi voltado a correr com a adição de 2 operadores em relação à oficina estudada obtendo assim melhores tempos de *makespan* em 3 dos 5 dias da semana e diminuindo a diferença entre os recursos humanos e físicos para, em média, 20pp.

4.2 Limitações e propostas de trabalhos futuros

Apesar de os resultados obtidos terem sido positivos o sistema efetuado tem alguns aspetos que podem ser melhorados ou mais aproximados da realidade.

Os resultados obtidos são ótimos, mas apenas para as condições definidas, pois têm as suas limitações em relação à realidade. O sistema criado não tem em conta:

- Peças entregues incorretamente e fora do tempo definido;
- Tempos de pausas para lanches e limpezas oficinais;
- Férias, baixas e folgas dos operadores;
- Falhas de equipamentos;
- Tempos de preparação e movimentação da viatura;
- Tarefas que não correm conforme o planeado, ou seja, com intercorrências;

Dessa forma não se pode considerar esta ferramenta uma ferramenta de planeamento autónoma, mas sim como base de planeamento para a pessoa responsável por tal. Como trabalho futuro algumas questões como folgas e férias podem ser implementadas no sistema de forma a este contabilizar automaticamente com elas. Tempos de preparação e movimentação podem ser incluídos como uma tarefa obrigatória a todos os veículos. Outra questão que pode ser trabalhada seria a função objetivo. Esta para além de atrasos máximos poderia incluir atrasos totais, tempos totais, custos totais ou um somatório de todas as últimas tarefas de cada operador podendo assim apresentar uma solução mais benéfica para a oficina.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Antonio Cruz-Chávez, M., Martínez-Rangel, M. G., Hernández, J. A., Crispín Zavala-Díaz, J., & Díaz-Parra, O. (2007). *Scheduling Algorithm for the Job Shop Scheduling Problem*. <https://doi.org/10.1109/CERMA.2007.13>
- Aramon Bajestani, M., & Beck, J. C. (2013). Scheduling a Dynamic Aircraft Repair Shop with Limited Repair Resources. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 47, 35–70. <https://doi.org/10.1613/jair.3902>
- Azemi, F., Šimunović, G., Lujić, R., & Tokody, D. (2019). Intelligent Computer-Aided resource planning and scheduling of machining operation. *Procedia Manufacturing*, 32, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.222>
- Bhasin, H., & Gupta, N. (2018). Critical Path Problem for Scheduling Using Genetic Algorithm. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 583, 15–24. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5687-1_2
- Birgin, E. G., Feofiloff, P., Fernandes, C. G., de Melo, E. L., Oshiro, M. T. I., & Ronconi, D. P. (2014). A MILP model for an extended version of the Flexible Job Shop Problem. *Optimization Letters*, 8(4), 1417–1431. <https://doi.org/10.1007/s11590-013-0669-7>
- Błażewicz, J., Ecker, K. H., Pesch, E., Schmidt, G., & Weglarz, J. (2007). *Handbook on Scheduling*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32220-7>
- Brucker, P. (2007). *Scheduling Algorithms*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69516-5>
- Čekerevac, Z., Dvořák, Z., & Prigoda, L. (2022). Electric or internal combustion engines for passenger cars? - environmental and economic aspects. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 24(1), B49–B58. <https://doi.org/10.26552/com.C.2022.1.B49-B58>
- Chaudhry, I. A., & Khan, A. A. (2016). A research survey: Review of flexible job shop scheduling techniques. *International Transactions in Operational Research*, 23(3), 551–591. <https://doi.org/10.1111/itor.12199>
- Chen, R., Yang, B., Li, S., & Wang, S. (2020). A self-learning genetic algorithm based on reinforcement learning for flexible job-shop scheduling problem. *Computers and Industrial Engineering*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106778>

- Cunha, B., Madureira, A. M., Fonseca, B., & Coelho, D. (2020). Deep Reinforcement Learning as a Job Shop Scheduling Solver: A Literature Review. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 923, 350–359. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14347-3_34
- Deepalakshmi, P., & Shankar, K. (2020). Role and Impacts of Ant Colony Optimization in Job Shop Scheduling Problems. In *Evolutionary Computation in Scheduling* (pp. 11–35). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119574293.ch2>
- Fattahi, P., Saidi Mehrabad, M., & Jolai, F. (2007). Mathematical modeling and heuristic approaches to flexible job shop scheduling problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 18(3), 331–342. <https://doi.org/10.1007/s10845-007-0026-8>
- Gabinete de Estratégia e Estudos, M. da E. e T. D. (2021). *Síntese Estatística Setorial- Comércio por Grosso e Retalho; Reparação de Veículos Automóveis e Motociclos*.
- Haan, H. de. (2016). *Job Shop Scheduling with Metaheuristics for Car Workshops*.
- Hart, E., Ross, P., & Corne, D. (2005). Evolutionary Scheduling: A Review. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 6(2), 191–220. <https://doi.org/10.1007/s10710-005-7580-7>
- Jedrzejowicz, P., & Wierzbowska, I. (2020). Parallelized swarm intelligence approach for solving TSP and JSSP problems. *Algorithms*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/a13060142>
- Kallrath, J. (2004). *Modeling Languages in Mathematical Optimization* (J. Kallrath, Ed.; Vol. 88). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0215-5>
- Kalshetty, Y. R., Adamuthe, A. C., & Kumar, S. P. (2020). Genetic Algorithms with Feasible Operators for Solving Job Shop Scheduling Problem. *Journal of Scientific Research*, 64(01), 310–321. <https://doi.org/10.37398/jsr.2020.640157>
- Kerzner, H. (2009). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, 8th Edition*.
- Lewandowski, R., & Olszewska, J. I. (2020). Automated Task Scheduling for Automotive Industry. *2020 IEEE 24th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, 159–164. <https://doi.org/10.1109/INES49302.2020.9147169>
- Lin, W., Wang, L., Zhou, R., Zhang, Y., & Zhang, C. (2018). Full-active scheduling in job shop problems using an improved genetic algorithm. *Journal of Applied Science and Engineering*, 21(4), 507–518. [https://doi.org/10.6180/jase.201812_21\(4\).0002](https://doi.org/10.6180/jase.201812_21(4).0002)
- Meng, L., Zhang, C., Ren, Y., Zhang, B., & Lv, C. (2020). Mixed-integer linear programming and constraint programming formulations for solving distributed

- flexible job shop scheduling problem. *Computers and Industrial Engineering*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106347>
- Muthuraman, S., & Prasanna, V. (2017). A Comprehensive Study on Hybrid Meta-Heuristic Approaches Used for Solving Combinatorial Optimization Problems. *Proceedings - 2nd World Congress on Computing and Communication Technologies, WCCCT 2017*, 185–190. <https://doi.org/10.1109/WCCCT.2016.53>
- Otala, J., Minard, A., Madraki, G., & Mousavian, S. (2021a). Graph-based modeling in shop scheduling problems: Review and extensions. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app11114741>
- Otala, J., Minard, A., Madraki, G., & Mousavian, S. (2021b). Graph-based modeling in shop scheduling problems: Review and extensions. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app11114741>
- Özgüven, C., Özbakir, L., & Yavuz, Y. (2010). Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. *Applied Mathematical Modelling*, 34(6), 1539–1548. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.09.002>
- Pilar, F. (2019). *Automobile Repair Scheduling: a Real Case*.
- Pinedo, M. (2012). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*.
- PORDATA. (2022, January 15). *Veículos rodoviários motorizados em circulação total e por tipo de veículo*. <https://www.pordata.pt/Portugal/Veículos+rodoviários+motorizados+em+circulação+total+e+por+tipo+de+veículos-3100>
- Reis, P. C. D. S. O. (2020). *Ferramenta de Apoio ao Escalonamento da Produção*.
- Sarker, R. A., & Newton, C. S. (2007). *Optimization Modelling*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420043112>
- Shi, F., Zhao, S., & Meng, Y. (2020). Hybrid algorithm based on improved extended shifting bottleneck procedure and GA for assembly job shop scheduling problem. *International Journal of Production Research*, 58(9), 2604–2625. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1622052>
- Shivasankaran, N., Kumar, P. S., Nallakumarasamy, G., & Raja, K. V. (2013). REPAIR SHOP JOB SCHEDULING WITH PARALLEL OPERATORS AND MULTIPLE CONSTRAINTS USING SIMULATED ANNEALING. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 6(2), 223. <https://doi.org/10.1080/18756891.2013.768434>
- Shivasankaran, N., & Senthilkumar, P. (2014). *SCHEDULING OF MECHANICS IN AUTOMOBILE REPAIR SHOPS USING ANN*.

- Srinivasan, V., & Fabens, W. (1992). A heuristic-based car shop scheduling application. *Proceedings Fourth International Conference on Tools with Artificial Intelligence TAI '92*, 128–135. <https://doi.org/10.1109/TAI.1992.246363>
- Vallikavungal Devassia, J., Salazar-Aguilar, M. A., & Boyer, V. (2018). Flexible job-shop scheduling problem with resource recovery constraints. *International Journal of Production Research*, 56(9), 3326–3343. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1420262>
- Varela, M. (2007). *Uma Contribuição para o Escalonamento da Produção baseado em Métodos Globalmente Distribuídos*.
- Vela, C. R., Afsar, S., Palacios, J. J., González-Rodríguez, I., & Puente, J. (2020). Evolutionary tabu search for flexible due-date satisfaction in fuzzy job shop scheduling. *Computers and Operations Research*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104931>
- Viana, M. S., Junior, O. M., & Contreras, R. C. (2020). An Improved Local Search Genetic Algorithm with Multi-crossover for Job Shop Scheduling Problem. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12415 LNAI, 464–479. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61401-0_43
- Winter, F., & Musliu, N. (2021). Constraint-based Scheduling for Paint Shops in the Automotive Supply Industry. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 12(2). <https://doi.org/10.1145/3430710>
- Xia, W., & Wu, Z. (2005). An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems. *Computers and Industrial Engineering*, 48(2), 409–425. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2005.01.018>
- Xie, J., Gao, L., Peng, K., Li, X., & Li, H. (2019). Review on flexible job shop scheduling. In *IET Collaborative Intelligent Manufacturing* (Vol. 1, Issue 3, pp. 67–77). Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/iet-cim.2018.0009>
- Zeng, R., & Wang, Y. (2018). A chaotic simulated annealing and particle swarm improved artificial immune algorithm for flexible job shop scheduling problem. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1). <https://doi.org/10.1186/s13638-018-1109-2>
- Zhang, R., Song, S., & Wu, C. (2013). A hybrid artificial bee colony algorithm for the job shop scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.035>
- Zhu, J., Shao, Z. H., & Chen, C. (2019). An improved whale optimization algorithm for job-shop scheduling based on quantum computing. *International Journal of Simulation Modelling*, 18(3), 521–530. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM18\(3\)CO13](https://doi.org/10.2507/IJSIMM18(3)CO13)

Zobolas, G. I., Tarantilis, C. D., & Ioannou, G. (2008). *Exact, Heuristic and Meta-heuristic Algorithms for Solving Shop Scheduling Problems* (pp. 1–40).
https://doi.org/10.1007/978-3-540-78985-7_1

APÊNDICES

6.1 DADOS E PLANEAMENTO DE SEGUNDA-FEIRA

6.2 DADOS E PLANEAMENTO DE TERÇA-FEIRA

6.3 DADOS E PLANEAMENTO DE QUARTA-FEIRA

6.4 DADOS E PLANEAMENTO DE QUINTA-FEIRA

6.5 DADOS E PLANEAMENTO DE SEXTA-FEIRA

6.6 DADOS E PLANEAMENTO DE SEGUNDA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES

6.7 DADOS E PLANEAMENTO DE TERÇA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES

6.8 DADOS E PLANEAMENTO DE QUARTA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES

6.9 DADOS E PLANEAMENTO DE QUINTA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES

6.10 DADOS E PLANEAMENTO DE SEXTA-FEIRA COM MAIS 2 OPERADORES

6 APÊNDICES

6.1 Dados e planeamento de segunda-feira

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 2ª feira

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	96	-	12	-	-	-	10	-	-	-	-
2	0	96	-	14	-	-	-	18	12	-	-	-
3	0	192	-	-	-	-	30	-	10	-	-	-
4	0	96	-	-	24	-	-	10	-	16	-	-
5	0	192	-	-	42	-	-	-	-	-	6	9
6	0	192	-	-	144	-	-	-	-	-	-	-
7	0	48	-	-	-	-	12	-	10	-	-	-
8	0	192	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
9	0	192	27	-	-	-	-	-	-	16	6	9
10	0	192	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-
11	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-
12	48	96	-	-	-	-	-	-	-	12	6	9
13	0	192	-	-	-	-	-	18	10	-	-	-
14	0	48	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
15	48	96	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
16	0	96	6	-	-	-	12	-	10	16	-	-
17	0	96	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
18	0	96	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-
19	0	96	-	-	-	-	12	-	10	-	-	-
20	0	96	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 2ª feira

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-
2	-	1	-	-	-	2	3	-	-	-
3	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
4	-	-	1	-	-	2	-	3	-	-
5	-	-	1	-	-	-	-	-	2	3
6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
9	3	-	-	-	-	-	-	4	1	2
10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	2	3	1	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3
13	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
16	2	-	-	-	3	-	4	1	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
18	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
20	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-

Planeamento de 2ª feira

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
1	1	2	4	1	12,0	0,0	12,0	Concluída
	2	6	4	4	8,0	12,0	20,0	Concluída
2	1	2	3	1	15,4	12,8	28,2	Concluída
	2	6	3	3	19,8	28,2	48,0	Concluída
	3	7	4	11	9,6	78,4	88,0	Concluída
3	1	5	1	2	24,0	90,4	114,4	Interrompida
	2	7	4	11	8,0	114,4	122,4	Transita
4	1	3	1	8	26,4	46,8	73,2	Concluída
	2	6	6	1	10,0	73,2	83,2	Concluída
	3	8	3	1	12,8	83,2	96,0	Concluída
5	1	3	1	7	46,2	0,0	46,2	Concluída
	2	9	5	12	6,0	46,2	52,2	Concluída
	3	10	7	12	9,0	88,8	97,8	Interrompida
6	1	3	2	5	122,4	0,0	122,4	Interrompida
7	1	5	6	8	14,4	0,0	14,4	Concluída
	2	7	4	11	8,0	20,0	28,0	Concluída
8	1	8	3	1	12,8	109,6	122,4	Transita
9	1	9	5	12	6,0	0,0	6,0	Concluída
	2	10	7	12	9,0	6,0	15,0	Concluída
	3	1	5	4	21,6	52,2	73,8	Concluída
	4	8	3	9	12,8	96,8	109,6	Transita
10	1	4	5	8	36,0	86,4	122,4	Interrompida
11	1	8	3	10	12,8	48,0	60,8	Concluída
	2	6	4	1	8,0	60,8	68,8	Concluída
	3	7	4	11	8,0	70,4	78,4	Concluída
12	1	8	3	10	9,6	60,8	70,4	Concluída
	2	9	5	12	6,0	73,8	79,8	Concluída
	3	10	7	12	9,0	79,8	88,8	Concluída
13	1	6	6	3	18,0	88,4	106,4	Interrompida
	2	7	4	11	8,0	106,4	114,4	Transita
14	1	8	4	1	16,0	28,2	44,2	Concluída
15	1	8	3	10	12,8	70,4	83,2	Concluída
16	1	8	3	9	12,8	0,0	12,8	Concluída
	2	1	1	2	4,8	73,6	78,4	Concluída
	3	5	1	4	9,6	78,4	88,0	Concluída
	4	7	4	11	8,0	88,0	96,0	Concluída
17	1	8	6	6	22,0	14,4	36,4	Concluída
18	1	3	5	10	36,0	6,0	42,0	Concluída
19	1	5	6	1	14,4	45,0	59,4	Concluída
	2	7	6	11	11,0	59,4	70,4	Concluída
20	1	6	4	2	14,4	44,2	58,6	Concluída

Cronograma dos operadores e postos de trabalho de 2ª feira

		Planeamento Oficial-Operadores																																					
		2ª Feira																3ª Feira																					
Horas		08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00				
UTs		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96						
1		V-5 T-1								V-4 T-1					V-16 T-3		V-3 T-1																						
2		V-6 T-1																																					
3		V-16 T-1	V-2 T-1			V-2 T-2				V-11 T-1		V-12 T-1	V-15 T-1		V-4 T-3				V-9 T-4		V-8 T-1																		
4		V-1 T-1	V-1 T-2	V-7 T-2	V-14 T-1				V-20 T-1			V-11 T-2	V-11 T-3	V-2 T-3	V-16 T-4					V-13 T-2	V-3 T-2																		
5		V-3 T-1	V-18 T-1							V-5 T-1	V-3 T-3			V-12 T-2		V-10 T-1																							
6		V-7 T-1		V-17 T-1						V-19 T-1	V-19 T-2			V-4 T-2		V-13 T-1																							
7*			V-9 T-2												V-12 T-3	V-5 T-3																							
		Planeamento Oficial-Postos de trabalho																																					
Elevador	1	V-1 T-1		V-2 T-1		V-14 T-1			V-19 T-1		V-11 T-2	V-4 T-2	V-4 T-3							V-8 T-1																			
	2								V-20 T-1					V-16 T-2		V-3 T-1																							
	3					V-2 T-2												V-13 T-1																					
	4			V-1 T-2						V-3 T-3				V-16 T-3																									
	5	V-6 T-1																																					
	6			V-17 T-1																																			
	7	V-5 T-1																																					
	8	V-7 T-1									V-4 T-1						V-10 T-1																						
Fossa	9	V-16 T-1																		V-9 T-4																			
	10		V-18 T-1							V-11 T-1	V-12 T-1	V-15 T-1																											
Alinhar	11				V-7 T-2						V-19 T-2	V-11 T-3	V-2 T-3	V-16 T-4					V-13 T-2	V-3 T-2																			
AC	12	V-9 T-1	V-9 T-2							V-5 T-2					V-12 T-3	V-12 T-3	V-5 T-3																						

6.2 Dados e planeamento de terça-feira

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 3ª feira

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0	96	-	-	-	-	19	-	10	-	-	-
5	0	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
6	0	96	-	-	27	-	-	-	-	-	-	-
8	0	96	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
9	0	96	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
10	0	96	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-
13	0	96	-	-	-	-	-	11	10	-	-	-
21	0	96	-	9	-	-	-	10	10	-	6	9
22	0	48	-	-	-	-	-	12	-	20	-	-
23	0	192	-	-	192	-	-	-	-	-	-	-
24	0	96	-	-	-	42	-	-	-	22	-	-
25	0	48	-	-	-	-	-	10	12	-	-	-
26	0	96	48	-	-	-	-	-	-	16	-	-
27	0	48	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
28	48	144	-	-	-	-	-	18	10	16	6	9
29	0	144	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-
30	0	48	-	-	-	-	-	-	-	16	6	9
31	48	96	24	-	-	-	-	-	12	-	-	-
32	24	96	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-
33	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 3ª feira

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
21	-	3	-	-	-	4	5	-	1	2
22	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-
23	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
25	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
26	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
28	-	-	-	-	-	4	5	1	2	3
29	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3
31	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-
32	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	1	2	3	-	-

Planeamento de 3ª feira

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Técnico	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
3	1	5	1	2	18,4	0	18,4	Concluída
	2	7	6	11	11	21	32	Concluída
5	1	10	7	12	2	0	2	Concluída
6	1	3	2	5	26,4	0	26,4	Concluída
8	1	8	4	1	16	0	16	Concluída
9	1	8	3	7	12,8	42,5	55,3	Concluída
10	1	4	5	8	27	0	27	Concluída
13	1	6	6	3	11	0	11	Concluída
	2	7	4	11	8	46,4	54,4	Concluída
21	1	9	5	12	6	27	33	Concluída
	2	10	7	12	9	57,3	66,3	Concluída
	3	2	3	1	9,9	66,3	76,2	Concluída
	4	6	3	2	11	77	88	Concluída
	5	7	4	11	8	88	96	Concluída
22	1	6	3	7	13,2	0,5	13,7	Concluída
	2	8	3	6	16	13,7	29,7	Concluída
23	1	3	2	9	163,2	26,4	189,6	Interrompida
24	1	4	1	8	37,8	38,4	76,2	Concluída
	2	8	1	1	19,8	76,2	96	Concluída
25	1	6	6	4	10	11	21	Concluída
	2	7	6	11	13,2	33,2	46,4	Concluída
26	1	1	5	4	38,4	40	78,4	Concluída
	2	8	6	5	17,6	78,4	96	Concluída
27	1	8	3	10	12,8	29,7	42,5	Concluída
28	1	8	4	10	16	54,4	70,4	Concluída
	2	9	5	12	6	101,2	107,2	Transita
	3	10	7	12	9	107,2	116,2	Transita
	4	6	3	1	19,8	116,2	136	Transita
	5	7	4	11	8	136	144	Transita
29	1	5	1	2	43,2	100,8	144	Transita
30	1	8	1	1	14,4	18,4	32,8	Concluída
	2	9	5	12	6	33	39	Concluída
	3	10	7	12	9	39	48	Concluída
31	1	1	6	5	26,4	52	78,4	Concluída
	2	7	4	11	9,6	78,4	88	Concluída
32	1	2	4	3	21	24	45	Concluída
33	1	6	3	3	11	55,3	66,3	Concluída
	2	7	4	11	8	70,4	78,4	Concluída
	3	8	5	10	14,4	81,6	96	Concluída

		Planeamento Oficial-Operadores																																	
		3ª Feira															4ª Feira																		
Horas		08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00
UTs		0-6	6-12	12-18	18-24	24-30	30-36	36-42	42-48	48-54	54-60	60-66	66-72	72-78	78-84	84-90	90-96	0-6	6-12	12-18	18-24	24-30	30-36	36-42	42-48	48-54	54-60	60-66	66-72	72-78	78-84	84-90	90-96		
1		V-3 T-1			V-30 T-1			V-24 T-1						V-24 T-2					V-29 T-1																
2		V-6 T-1				V-23 T-1																													
3		V-22 T-1		V-22 T-2		V-27 T-1		V-9 T-1		V-33 T-1		V-21 T-3	V-21 T-4								V-28 T-4														
4		V-8 T-1			V-32 T-1			V-13 T-2		V-28 T-1		V-33 T-2	V-31 T-2	V-21 T-5											V-28 T-2										
5		V-10 T-1				V-21 T-30	V-26 T-1							V-33 T-3				V-28 T-2																	
6		V-13 T-1	V-25 T-1	V-15 T-2		V-25 T-2			V-31 T-1					V-26 T-2																					
7*		V-5 T-1						V-30 T-3			V-21 T-2										V-28 T-3														
		Planeamento Oficial-Postos de trabalho																																	
Elevador	1		V-8 T-1		V-30 T-1								V-21 T-3	V-24 T-2							V-28 T-4														
	2		V-3 T-1											V-21 T-4				V-29 T-1																	
	3		V-13 T-1			V-32 T-1					V-33 T-1																								
	4			V-25 T-1				V-26 T-1																											
	5		V-6 T-1							V-31 T-1				V-26 T-2																					
	6				V-22 T-2																														
	7		V-22 T-1						V-9 T-1																										
	8		V-10 T-1					V-24 T-1																											
Fossa	9					V-23 T-1																													
	10					V-27 T-1				V-28 T-1				V-33 T-3																					
Alinhar	11				V-13 T-2	V-25 T-2		V-13 T-2					V-33 T-2	V-31 T-2	V-21 T-5										V-28 T-2										
AC	12	V-5 T-1				V-21 T-30	V-30 T-3			V-21 T-2							V-28 T-2																		

6.3 Dados e planeamento de quarta-feira

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 4ª feira

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	0	96	-	-	94	-	-	-	-	-	-	-
28	0	48	-	-	-	-	-	18	10	-	6	9
29	0	48	-	-	-	-	56	-	-	-	-	-
34	0	96	12	-	-	-	-	10	10	-	6	9
35	0	96	-	-	-	-	48	-	-	-	-	-
36	0	144	-	-	-	42	-	-	-	16	-	-
37	0	96	-	-	-	30	-	-	-	16	-	-
38	0	48	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-
39	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-
40	0	192	-	-	144	-	-	-	-	-	-	-
41	0	144	18	-	-	-	24	-	-	-	-	-
42	48	144	42	-	-	-	-	-	-	-	6	9
43	48	144	-	21	-	-	-	10	10	16	-	-
44	0	96	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-
45	0	96	-	-	-	-	-	18	12	-	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 4ª feira

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	3	4	-	1	2
29	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
34	5	-	-	-	-	3	4	-	1	2
35	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
36	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
37	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
38	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	2	3	1	-	-
40	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
41	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-
42	3	-	-	-	-	-	-	-	1	2
43	-	1	-	-	-	2	3	4	-	-
44	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-

Planeamento de 4ª feira

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
23	1	3	2	9	93,6	0	93,6	Concluída
28	1	9	5	12	6	6	12	Concluída
	2	10	7	12	9	12	21	Concluída
	3	6	4	3	14,4	25,6	40	Concluída
	4	7	4	11	8	40	48	Concluída
29	1	5	1	2	44,8	0	44,8	Concluída
34	1	9	5	12	6	0	6	Concluída
	2	10	7	12	9	21	30	Concluída
	3	6	3	2	11	44,8	55,8	Concluída
	4	7	4	11	8	60	68	Concluída
	5	1	4	2	12	68	80	Concluída
35	1	5	1	1	38,4	52,8	91,2	Concluída
36	1	4	6	4	50,4	64,8	115,2	Interrompida
	2	8	2	9	14,4	115,2	129,6	Transita
37	1	4	6	5	36	28,8	64,8	Concluída
	2	8	3	10	12,8	74,5	87,3	Concluída
38	1	2	3	1	20,9	19,8	40,7	Concluída
39	1	8	3	10	12,8	61,7	74,5	Concluída
	2	6	4	8	8	80	88	Concluída
	3	7	4	11	8	88	96	Concluída
40	1	3	5	6	172,8	12	184,8	Interrompida
41	1	1	4	8	18	0	18	Concluída
	2	5	1	3	19,2	91,2	110,4	Interrompida
42	1	9	2	12	6	93,6	99,6	Interrompida
	2	10	7	12	9	99,6	108,6	Transita
	3	1	1	2	33,6	110,4	144	Transita
43	1	2	3	2	23,1	87,3	110,4	Interrompida
	2	6	3	1	11	110,4	121,4	Transita
	3	7	4	11	8	121,4	129,6	Transita
	4	8	2	9	14,4	129,6	144	Transita
44	1	5	6	4	28,8	0	28,8	Concluída
45	1	6	3	7	19,8	0	19,8	Concluída
	2	7	4	11	9,6	50,4	60	Concluída

Cronograma dos operadores e postos de trabalho de 4ª feira

		Planeamento Oficial-Operadores																															
		4ª Feira																5ª Feira															
Horas		08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
UTs		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
1		V-29 T-1									V-35 T-1						V-41 T-2			V-42 T-3													
2		V-23 T-1															V-42 T-1				V-36 T-2		V-43 T-4										
3		V-45 T-1				V-38 T-1					V-34 T-3			V-39 T-1	V-37 T-2	V-43 T-1				V-43 T-2													
4		V-41 T-1					V-28 T-3	V-28 T-4	V-45 T-2		V-34 T-4	V-34 T-5		V-39 T-2	V-39 T-3							V-43 T-3											
5		V-34 T-1	V-28 T-2	V-40 T-1																													
6		V-44 T-1					V-37 T-1							V-36 T-1																			
7*				V-28 T-2	V-34 T-2														V-42 T-2														
		Planeamento Oficial-Postos de trabalho																															
Elevador	1					V-38 T-1					V-35 T-1										V-43 T-2												
	2	V-29 T-1								V-34 T-3				V-34 T-5			V-43 T-1			V-42 T-3													
	3						V-28 T-3										V-41 T-2																
	4	V-44 T-1												V-36 T-1																			
	5						V-37 T-1																										
	6			V-40 T-1																													
	7	V-45 T-1																															
	8	V-41 T-1														V-39 T-2																	
Fossa	9	V-23 T-1																															
	10												V-39 T-1	V-37 T-2							V-36 T-2		V-43 T-4										
Alinhar	11							V-28 T-2	V-45 T-2	V-34 T-4						V-39 T-3							V-43 T-3										
AC	12	V-34 T-1	V-28 T-2	V-28 T-3	V-34 T-2													V-42 T-1	V-42 T-2														

6.4 Dados e planeamento de quinta-feira

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 5ª feira

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36	0	48	-	-	-	19	-	-	-	16	-	-
40	0	96	-	-	70	-	-	-	-	-	-	-
41	0	48	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-
42	0	48	42	-	-	-	-	-	-	-	3	9
43	0	48	-	14	-	-	-	10	10	16	-	-
46	0	192	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-
47	48	144	-	-	-	-	-	18	10	-	6	9
48	0	96	-	-	-	-	-	10	10	-	6	9
49	0	96	18	9	-	-	-	-	-	16	-	-
50	48	96	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-
51	0	96	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-
52	0	96	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-
53	0	144	-	-	-	-	51	-	-	-	-	-
54	48	144	-	21	-	-	-	18	12	16	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 5ª feira

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
40	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
42	3	-	-	-	-	-	-	-	1	2
43	-	1	-	-	-	2	3	4	-	-
46	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	3	4	-	1	2
48	-	-	-	-	-	1	2	-	3	4
49	1	3	-	-	-	-	-	2	-	-
50	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
51	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
52	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
54	-	1	-	-	-	3	4	2	-	-

Planeamento de 5ª feira

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Técnico	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
36	1	4	6	4	22,8	0	22,8	Concluída
	2	8	3	9	12,8	22,8	35,6	Concluída
40	1	3	5	6	88,8	0	88,8	Concluída
41	1	5	1	3	14,4	0	14,4	Concluída
42	1	9	2	12	3,6	0	3,6	Concluída
	2	10	7	12	9	3,6	12,6	Concluída
	3	1	2	5	33,6	12,6	46,2	Concluída
43	1	2	3	2	15,4	0	15,4	Concluída
	2	6	4	1	8	16	24	Concluída
	3	7	4	11	8	24	32	Concluída
	4	8	4	10	16	32	48	Concluída
46	1	4	1	8	108	14,4	122,4	Interrompida
47	1	9	2	12	6	72,6	78,6	Concluída
	2	10	7	12	9	78,6	87,6	Concluída
	3	6	4	6	14,4	88,8	103,2	Interrompida
	4	7	4	11	8	103,2	111,2	Transita
48	1	6	4	1	8	0	8	Concluída
	2	7	4	11	8	8	16	Concluída
	3	9	2	12	6	46,2	52,2	Concluída
	4	10	7	12	9	52,2	61,2	Concluída
49	1	1	4	4	18	49,2	67,2	Concluída
	2	8	3	10	12,8	71,1	86,1	Concluída
	3	2	3	1	9,9	86,1	96	Concluída
50	1	3	2	9	20,4	52,2	72,6	Concluída
51	1	5	6	4	28,8	67,2	96	Concluída
52	1	4	6	7	36	22,8	58,8	Concluída
53	1	5	2	2	43,35	78,6	121,95	Interrompida
54	1	2	3	2	23,1	48	71,1	Concluída
	2	8	4	9	16	72,8	88,8	Concluída
	3	6	5	7	16,2	88,8	105	Interrompida
	4	7	4	11	9,6	112,8	122,4	Transita

Cronograma dos operadores e postos de trabalho de 5ª feira

		Planeamento Oficial-Operadores																																					
		5ª Feira																6ª Feira																					
Horas		08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00				
UTs		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96					
1		V-41 T-1		V-46 T-1																																			
2		V-42 T-1		V-42 T-3						V-48 T-1	V-50 T-1				V-47 T-1	V-53 T-1																							
3		V-43 T-1				V-36 T-2				V-54 T-1				V-49 T-2	V-45 T-3																								
4		V-48 T-1	V-48 T-2	V-43 T-2	V-43 T-3	V-43 T-4				V-49 T-1				V-54 T-2		V-47 T-3										V-47 T-4	V-54 T-4												
5		V-40 T-1															V-54 T-3																						
6		V-36 T-1				V-52 T-1								V-51 T-1																									
7*		V-42 T-2									V-48 T-4					V-47 T-2																							
		Planeamento Oficial-Postos de trabalho																																					
Elevador	1	V-48 T-1			V-43 T-2												V-48 T-3																						
	2	V-43 T-1									V-54 T-1					V-53 T-1																							
	3	V-41 T-1																																					
	4	V-36 T-1									V-49 T-1			V-51 T-1																									
	5				V-42 T-3																																		
	6	V-40 T-1																V-47 T-3																					
	7						V-52 T-1											V-54 T-3																					
	8				V-46 T-1																																		
Fossa	9					V-36 T-2						V-50 T-3			V-54 T-2																								
	10								V-43 T-4						V-43 T-3																								
Alinhar	11			V-48 T-2		V-43 T-3																						V-47 T-4	V-54 T-4										
AC	12	V-41 V-42 T-2								V-48 T V-48 T-4					V-47 T V-47 T-2																								

6.5 Dados e planeamento de sexta-feira

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 6ª feira

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
46	0	96	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-
47	0	48	-	-	-	-	-	7	10	-	-	-
53	0	48	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-
54	0	48	-	-	-	-	-	9	12	-	-	-
55	0	48	-	12	-	-	12	-	-	-	-	-
56	0	96	42	-	-	-	-	-	-	-	6	9
57	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-
58	0	96	-	-	-	-	72	-	-	-	-	-
59	0	96	-	21	-	-	-	-	-	16	-	-
60	0	96	-	-	-	-	-	18	10	-	6	9
61	48	96	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-
62	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-
63	48	96	-	-	-	-	-	-	-	16	6	9
64	48	96	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	0	96	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 6ª feira

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
46	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
53	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
54	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
55	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-
56	3	-	-	-	-	-	-	-	1	2
57	-	-	-	-	-	1	2	3	-	-
58	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
59	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-
60	-	-	-	-	-	3	4	-	1	2
61	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
62	-	-	-	-	-	2	3	1	-	-
63	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3
64	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-

Planeamento de 6ª feira

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
46	1	4	1	8	26,4	0	26,4	Concluída
47	1	6	4	6	7,2	0	7,2	Concluída
	2	7	6	11	11	36	47	Concluída
53	1	5	2	2	25,95	0	25,95	Concluída
54	1	6	5	7	9	0	9	Concluída
	2	7	4	11	9,6	9	18,6	Concluída
55	1	5	6	4	14,4	0	14,4	Concluída
	2	2	3	5	13,2	14,4	27,6	Concluída
56	1	9	5	12	6	9	15	Concluída
	2	10	7	12	9	18,6	27,6	Concluída
	3	1	1	5	33,6	27,6	61,2	Concluída
57	1	6	6	2	10	48,8	58,8	Concluída
	2	7	4	11	8	58,8	66,8	Concluída
	3	8	2	10	14,4	68,4	82,8	Concluída
58	1	5	5	3	64,8	15	79,8	Concluída
59	1	8	3	1	12,8	0	12,8	Concluída
	2	2	4	4	21	18,6	39,6	Concluída
60	1	9	2	12	6	29,4	35,4	Concluída
	2	10	7	12	9	35,4	44,4	Concluída
	3	6	4	8	14,4	44,4	58,8	Concluída
	4	7	4	11	8	66,8	74,8	Concluída
61	1	3	1	4	19,8	63	82,8	Concluída
62	1	8	3	10	12,8	51	63,8	Concluída
	2	6	3	5	11	63,8	74,8	Concluída
	3	7	4	11	8	74,8	82,8	Concluída
63	1	8	2	1	14,4	48	62,4	Concluída
	2	9	2	12	6	62,4	68,4	Concluída
	3	10	7	12	9	73,8	82,8	Concluída
64	1	1	6	8	19,8	58,8	78,6	Concluída
65	1	5	6	6	21,6	14,4	36	Concluída

Cronograma dos operadores e postos de trabalho de 6ª feira

Planeamento Oficial-Operadores																
6ª Feira																
Horas	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00
UTs	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
1	V-46 T-1					V-56 T-3					V-61 T-1					
2	V-53 T-1					V-60 T-1		V-63 T-1		V-63 T-1	V-57 T-3					
3	V-59 T-1		V-55 T-2						V-62 T-1		V-62 T-2					
4	V-47 T-1	V-54 T-2	V-59 T-2					V-60 T-3		V-57 T-2	V-60 T-4	V-62 T-3				
5	V-54 T-1	V-56 T-1	V-58 T-1													
6	V-55 T-1		V-65 T-1				V-47 T-2		V-57 T-1	V-64 T-1						
7*				V-56 T-2			V-60 T-2						V-63 T-3			
Planeamento Oficial-Postos de trabalho																
Elevador	1	V-59 T-1							V-63 T-1							
	2	V-53 T-1							V-57 T-1							
	3			V-58 T-1												
	4	V-55 T-1			V-59 T-2						V-61 T-1					
	5			V-55 T-2		V-56 T-3					V-62 T-2					
	6	V-47 T-1		V-65 T-1												
	7	V-54 T-1														
	8	V-46 T-1						V-60 T-3		V-64 T-1						
Fossa	9															
	10								V-62 T-1		V-57 T-3					
Alinhar	11		V-54 T-2				V-47 T-2			V-57 T-2	V-60 T-4	V-62 T-3				
AC	12		V-56 T-1	V-56 T-2	V-60 T-1	V-60 T-2				V-63 T-2		V-63 T-3				

6.6 Dados e planeamento de segunda-feira com mais 2 operadores

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 2ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	96	-	12	-	-	-	10	-	-	-	-
2	0	96	-	14	-	-	-	18	12	-	-	-
3	0	192	-	-	-	-	30	-	10	-	-	-
4	0	96	-	-	24	-	-	10	-	16	-	-
5	0	192	-	-	42	-	-	-	-	-	6	9
6	0	192	-	-	144	-	-	-	-	-	-	-
7	0	48	-	-	-	-	12	-	10	-	-	-
8	0	192	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
9	0	192	27	-	-	-	-	-	-	16	6	9
10	0	192	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-
11	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-
12	48	96	-	-	-	-	-	-	-	12	6	9
13	0	192	-	-	-	-	-	18	10	-	-	-
14	0	48	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
15	48	96	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
16	0	96	6	-	-	-	12	-	10	16	-	-
17	0	96	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
18	0	96	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-
19	0	96	-	-	-	-	12	-	10	-	-	-
20	0	96	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 2ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-
2	-	1	-	-	-	2	3	-	-	-
3	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
4	-	-	1	-	-	2	-	3	-	-
5	-	-	1	-	-	-	-	-	2	3
6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
9	3	-	-	-	-	-	-	4	1	2
10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	2	3	1	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3
13	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
16	2	-	-	-	3	-	4	1	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
18	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-
20	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-

Planeamento de 2ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
1	1	2	1	7	9,6	9,6	19,2	Concluída
	2	6	3	5	11	19,2	30,2	Concluída
2	1	2	9	4	14	0	14	Concluída
	2	6	6	7	18	19,2	37,2	Concluída
	3	7	5	11	10,8	49,2	60	Concluída
3	1	5	5	1	27	0	27	Concluída
	2	7	6	11	11	37,8	48,8	Concluída
4	1	3	9	10	24	14	38	Concluída
	2	6	4	8	8	38	46	Concluída
	3	8	3	1	12,8	54	66,8	Concluída
5	1	3	9	3	42	38	95	Concluída
	2	9	9	12	6	95	101	Interrompida
	3	10	7	12	9	101	110	Transita
6	1	3	2	2	122,4	0	122,4	Interrompida
7	1	5	1	6	9,6	19,2	28,8	Concluída
	2	7	5	11	9	28,8	37,8	Concluída
8	1	8	3	9	12,8	0	12,8	Concluída
9	1	9	8	12	6	0	6	Concluída
	2	10	7	12	9	6	15	Concluída
	3	1	1	4	21,6	61,8	83,4	Concluída
	4	8	3	10	12,8	109,6	122,4	Transita
10	1	4	8	1	36	86,4	122,4	Interrompida
11	1	8	3	9	12,8	66,8	79,6	Concluída
	2	6	4	8	8	80	88	Concluída
	3	7	4	11	8	88	96	Concluída
12	1	8	4	1	12	68	80	Concluída
	2	9	8	12	6	80	86	Concluída
	3	10	7	12	9	86	95	Concluída
13	1	6	4	5	14,4	0	14,4	Concluída
	2	7	8	11	10	14,4	24,4	Concluída
14	1	8	8	1	16	32	48	Concluída
15	1	8	6	10	17,6	59,4	77	Concluída
16	1	8	3	5	12,8	35,2	48	Concluída
	2	1	4	1	6	48	54	Concluída
	3	5	5	8	10,8	66,2	77	Concluída
	4	7	6	11	11	77	88	Concluída
17	1	8	5	10	18	78	96	Concluída
18	1	3	1	9	33	28,8	61,8	Concluída
19	1	5	1	8	9,6	0	9,6	Concluída
	2	7	4	11	8	60	68	Concluída
20	1	6	6	6	18	0	18	Concluída

Cronograma dos operadores e postos de trabalho de 2ª feira com mais 2 operadores

		Planeamento Oficial-Operadores																															
		2ª Feira																3ª Feira															
Horas		08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
UTs		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
1		V-19 T-1	V-1 T-1	V-7 T-1	V-18 T-1								V-9 T-3																				
2		V-6 T-1																															
3		V-8 T-1			V-1 T-2			V-16 T-1			V-4 T-3		V-11 T-1								V-9 T-4												
4		V-13 T-1						V-4 T-2		V-16 T-2	V-19 T-2	V-12 T-1	V-11 T-2	V-11 T-3																			
5		V-3 T-1					V-7 T-2			V-2 T-3		V-16 T-3	V-17 T-1																				
6		V-20 T-1			V-2 T-2		V-3 T-2				V-15 T-1		V-16 T-4																				
7*			V-9 T-2													V-12 T-3		V-5 T-3															
8*		V-9 T-1		V-13 T-2			V-14 T-1								V-12 T-1	V-10 T-1																	
9*		V-2 T-1		V-4 T-1				V-5 T-1									V-5 T-2																
Planeamento Oficial-Postos de trabalho																																	
Elevador	1	V-3 T-1					V-14 T-1		V-16 T-1	V-4 T-3		V-12 T-1		V-10 T-1																			
	2	V-6 T-1																															
	3							V-5 T-1																									
	4	V-2 T-1										V-9 T-3																					
	5	V-13 T-1			V-1 T-2		V-16 T-1																										
	6	V-20 T-1			V-7 T-1																												
	7			V-1 T-1	V-2 T-2																												
	8	V-19 T-1						V-4 T-2					V-16 T-3	V-11 T-2																			
Fossa	9	V-8 T-1					V-18 T-1						V-11 T-1																				
	10			V-4 T-1								V-15 T-1		V-17 T-1																			
Alinhar	11			V-13 T-2		V-7 T-2	V-3 T-2	V-2 T-3	V-19 T-2			V-16 T-4	V-11 T-3																				
AC	12	V-9 T-1	V-9 T-2												V-12 T-1	V-12 T-3	V-5 T-1	V-5 T-2															

6.7 Dados e planeamento de terça-feira com mais 2 operadores

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 3ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tempo de Entrada	Limite de Entrega	Tipos de tarefas									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0	96	-	-	-	-	-	-	-	-	5	9
6	0	96	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-
9	0	96	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
10	0	96	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-
21	0	96	-	9	-	-	-	10	10	-	6	9
22	0	48	-	-	-	-	-	12	-	20	-	-
23	0	192	-	-	192	-	-	-	-	-	-	-
24	0	96	-	-	-	42	-	-	-	22	-	-
25	0	48	-	-	-	-	-	10	12	-	-	-
26	0	96	48	-	-	-	-	-	-	16	-	-
27	0	48	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-
28	48	144	-	-	-	-	-	18	10	16	6	9
29	0	144	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-
30	0	48	-	-	-	-	-	-	-	16	6	9
31	48	96	24	-	-	-	-	-	12	-	-	-
32	24	96	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-
33	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 3ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2
6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
21	-	3	-	-	-	4	5	-	1	2
22	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-
23	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
25	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
26	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
28	-	-	-	-	-	4	5	1	2	3
29	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3
31	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-
32	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	1	2	3	-	-

Planeamento de 3ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
5	1	9	9	12	5	0	5	Concluída
	2	10	7	12	9	5	14	Concluída
6	1	3	2	2	26,4	0	26,4	Concluída
9	1	8	4	9	16	0	16	Concluída
10	1	4	8	1	26,4	0	26,4	Concluída
21	1	9	8	12	6	26,4	32,4	Concluída
	2	10	7	12	9	47,4	56,4	Concluída
	3	2	5	6	8,1	57,1	65,2	Concluída
	4	6	1	7	11	65,2	76,2	Concluída
	5	7	5	11	9	76,2	85,2	Concluída
22	1	6	9	4	12	5	17	Concluída
	2	8	3	9	16	17	33	Concluída
23	1	3	2	2	163,2	26,4	189,6	Interrompida
24	1	4	1	3	37,8	27,4	65,2	Concluída
	2	8	1	1	19,8	76,2	96	Concluída
25	1	6	6	3	10	0	10	Concluída
	2	7	6	11	13,2	10,8	24	Concluída
26	1	1	5	8	38,4	0	38,4	Concluída
	2	8	6	4	17,6	78,4	96	Concluída
27	1	8	4	4	16	17	33	Concluída
28	1	8	6	9	17,6	48	65,6	Concluída
	2	9	8	12	6	67	73	Concluída
	3	10	7	12	9	107	116	Transita
	4	6	9	7	18	116	134	Transita
	5	7	8	11	10	134	144	Transita
29	1	5	8	6	54	80	134	Interrompida
30	1	8	1	6	14,4	0	14,4	Concluída
	2	9	8	12	6	32,4	38,4	Concluída
	3	10	7	12	9	38,4	47,4	Concluída
31	1	1	9	1	24	48	72	Concluída
	2	7	5	11	10,8	85,2	96	Concluída
32	1	2	6	5	21	24	45	Concluída
33	1	6	5	4	9	48	57	Concluída
	2	7	8	11	10	57	67	Concluída
	3	8	9	9	16	80	96	Concluída

Cronograma dos operadores e postos de trabalho de 3ª feira com mais 2 operadores

		Planeamento Oficial-Operadores																															
		3ª Feira																4ª Feira															
Horas		08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
UTs		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
1		V-30 T-1					V-24 T-1							V-21 T-4	V-24 T-2																		
2		V-6 T-1																															
3					V-22 T-2																												
4		V-9 T-1		V-27 T-1																													
5		V-26 T-1									V-33 T-1	V-21 T-3			V-21 T-5	V-31 T-2																	
6		V-25 T-1	V-25 T-2		V-32 T-1					V-28 T-1					V-26 T-2																		
7*		V-5 T-2							V-30 T-3	V-21 T-2																V-28 T-3							
8*		V-10 T-1				V-21 T-1	V-30 T-2					V-33 T-2	V-28 T-2		V-29 T-1											V-28 T-5							
9*		V-5 T-1	V-22 T-1							V-31 T-1					V-33 T-3								V-28 T-4										

		Planeamento Oficial-Postos de trabalho																															
Elevador	1	V-10 T-1								V-31 T-1				V-24 T-2																			
	2	V-6 T-1						V-23 T-1																									
	3	V-25 T-1					V-24 T-1																										
	4		V-22 T-1	V-27 T-1					V-33 T-1					V-26 T-2																			
	5					V-32 T-1																											
	6	V-30 T-1									V-21 T-3			V-29 T-1																			
	7												V-21 T-4														V-28 T-4						
	8	V-26 T-1																															
Fossa	9	V-9 T-1		V-22 T-2						V-28 T-1				V-33 T-3																			
	10																																
Alinhar	11			V-25 T-2								V-33 T-2			V-21 T-5	V-31 T-2										V-28 T-5							
AC	12	V-5 T-1	V-5 T-2				V-21 T-1	V-30 T-2	V-30 T-3	V-21 T-2			V-28 T-2													V-28 T-3							

6.8 Dados e planeamento de quarta-feira com mais 2 operadores

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 4ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	0	96	-	-	93	-	-	-	-	-	-	-
28	0	96	-	-	-	-	-	18	10	-	-	9
29	0	96	-	-	-	-	48	-	-	-	-	-
34	0	96	12	-	-	-	-	10	10	-	6	9
35	0	96	-	-	-	-	48	-	-	-	-	-
36	0	96	-	-	-	42	-	-	-	16	-	-
37	0	96	-	-	-	30	-	-	-	16	-	-
38	0	96	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-
39	0	48	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-
40	0	192	-	-	144	-	-	-	-	-	-	-
41	0	96	18	-	-	-	24	-	-	-	-	-
42	0	48	42	-	-	-	-	-	-	-	6	9
43	0	96	-	21	-	-	-	10	10	16	-	-
44	0	48	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-
45	48	144	-	-	-	-	-	18	12	-	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 4ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	2	3	-	-	1
29	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
34	5	-	-	-	-	3	4	-	1	2
35	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
36	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
37	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
38	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	2	3	1	-	-
40	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
41	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-
42	3	-	-	-	-	-	-	-	1	2
43	-	1	-	-	-	2	3	4	-	-
44	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-

Planeamento de 4ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
23	1	3	2	2	93,6	0	93,6	Concluída
28	1	10	7	12	9	16,6	25,6	Concluída
	2	6	4	7	14,4	25,6	40	Concluída
	3	7	4	11	8	40	48	Concluída
29	1	5	8	6	48	0	48	Concluída
34	1	9	5	12	6	0	6	Concluída
	2	10	7	12	9	6	15	Concluída
	3	6	4	6	8	48	56	Concluída
	4	7	4	11	8	65,6	76	Concluída
	5	1	4	6	12	76	88	Concluída
35	1	5	1	7	38,4	55,4	93,8	Concluída
36	1	4	6	3	50,4	19,2	69,6	Concluída
	2	8	2	10	14,4	93,6	108	Interrompida
37	1	4	1	4	27	28,4	55,4	Concluída
	2	8	3	1	12,8	83,2	96	Concluída
38	1	2	6	1	19	0	19	Concluída
39	1	8	3	9	12,8	48	60,8	Concluída
	2	6	3	6	11	65	76	Concluída
	3	7	4	11	8	88	96	Concluída
40	1	3	9	5	144	0	144	Interrompida
41	1	1	2	1	14,4	109,2	123,6	Transita
	2	5	2	1	20,4	123,6	144	Transita
42	1	9	5	12	6	48	54	Concluída
	2	10	7	12	9	54	63	Concluída
	3	1	4	3	42	102	144	Transita
43	1	2	1	2	16,8	93,8	110,6	Interrompida
	2	6	5	2	9	110,6	119,6	Transita
	3	7	8	11	10	119,6	129,6	Transita
	4	8	1	10	14,4	129,6	144	Transita
44	1	5	1	3	19,2	0	19,2	Concluída
45	1	6	3	4	19,8	0	19,8	Concluída
	2	7	4	11	9,6	56	65,6	Concluída

		Planeamento Oficial-Operadores																																	
		4ª Feira																5ª Feira																	
Horas		08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00
UTs		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96		
1		V-44 T-1				V-37 T-1				V-35 T-1							V-43 T-1						V-43 T-4												
2		V-23 T-1															V-36 T-2		V-41 T-1		V-41 T-2														
3		V-45 T-1								V-39 T-1		V-39 T-2			V-37 T-2																				
4						V-28 T-2	V-28 T-3	V-34 T-3	V-45 T-2	V-34 T-4	V-34 T-5	V-39 T-3					V-42 T-3																		
5		V-34 T-1								V-42 T-1										V-43 T-2															
6		V-38 T-1			V-36 T-1																														
7*			V-34 T-2	V-28 T-1							V-42 T-2																								
8*		V-29 T-1																				V-43 T-3													
9*		V-40 T-1																																	
		Planeamento Oficial-Postos de trabalho																																	
Elevador	1	V-38 T-1													V-37 T-2				V-41 T-1	V-41 T-2															
	2	V-23 T-1															V-43 T-1		V-43 T-2																
	3	V-44 T-1		V-36 T-1															V-42 T-3																
	4	V-45 T-1				V-37 T-1																													
	5	V-40 T-1																																	
	6	V-29 T-1							V-34 T-3		V-39 T-2	V-34 T-5																							
	7					V-28 T-2					V-35 T-1																								
	8																																		
Fossa	9									V-39 T-1																									
	10																V-36 T-2							V-43 T-4											
Alinhar	11				</																														

6.9 Dados e planeamento de quinta-feira com mais 2 operadores

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 5ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tempo de	Limite de	Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36	0	48	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-
40	0	96	-	-	48	-	-	-	-	-	-	-
41	0	48	18	-	-	-	24	-	-	-	-	-
42	0	48	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	0	48	-	14	-	-	-	10	10	16	-	-
46	0	192	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-
47	48	144	-	-	-	-	-	18	10	-	6	9
48	0	96	-	-	-	-	-	10	10	-	6	9
49	0	96	18	9	-	-	-	-	-	16	-	-
50	48	96	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-
51	0	96	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-
52	0	96	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-
53	0	144	-	-	-	-	51	-	-	-	-	-
54	48	144	-	21	-	-	-	18	12	16	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 5ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
40	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
41	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-
42	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	1	-	-	-	2	3	4	-	-
46	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	3	4	-	1	2
48	-	-	-	-	-	1	2	-	3	4
49	1	3	-	-	-	-	-	2	-	-
50	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
51	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
52	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
54	-	1	-	-	-	3	4	2	-	-

Planeamento de 5ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
36	1	8	2	10	10,8	0	12	Concluída
40	1	3	9	5	48	0	48	Concluída
41	1	1	5	8	14,4	0	14,4	Concluída
	2	5	1	7	19,2	14,6	33,8	Concluída
42	1	1	5	1	33,6	14,4	48	Concluída
43	1	2	1	2	11,2	0	14,6	Concluída
	2	6	3	8	11	14,6	25,6	Concluída
	3	7	4	11	8	25,6	33,6	Concluída
	4	8	3	9	12,8	35,2	48	Concluída
46	1	4	2	6	96	12	108	Interrompida
47	1	9	9	12	6	48	54	Concluída
	2	10	7	12	9	54	63	Concluída
	3	6	8	1	18	63	81	Concluída
	4	7	9	11	10	81	91	Concluída
48	1	6	4	1	8	0	8	Concluída
	2	7	4	11	8	8	16	Concluída
	3	9	8	12	6	16	22	Concluída
	4	10	7	12	9	22	31	Concluída
49	1	1	4	3	18	47	65	Concluída
	2	8	9	5	16	65	81	Concluída
	3	2	3	2	9,9	86,1	96	Concluída
50	1	3	5	10	28,8	67,2	96	Concluída
51	1	5	6	3	28,8	67,2	96	Concluída
52	1	4	6	3	36	0	36	Concluída
53	1	5	1	4	40,8	67,2	108	Interrompida
54	1	2	1	5	16,8	48	64,8	Concluída
	2	8	3	9	12,8	64,8	84	Concluída
	3	6	4	5	14,4	84	98,4	Interrompida
	4	7	4	11	9,6	98,4	108	Transita

		Planeamento Oficial-Operadores																																
		5ª Feira																6ª Feira																
Horas		08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00	
UTs		0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96	
1		V-43 T-1		V-41 T-2						V-54 T-1			V-53 T-1																					
2		V-36 T-1		V-46 T-1																														
3				V-43 T-2				V-43 T-4					V-54 T-2			V-49 T-3																		
4		V-48 T-1 V-48 T-2			V-43 T-3					V-49 T-1					V-54 T-3	V-54 T-4																		
5		V-41 T-1		V-42 T-1									V-50 T-1																					
6		V-52 T-1											V-51 T-1																					
7*					V-48 T-4						V-47 T-2																							
8*				V-48 T-3								V-47 T-3																						
9*		V-40 T-1								V-47 T-1			V-49 T-2		V-47 T-4																			
		Planeamento Oficial-Postos de trabalho																																
Elevador	1	V-48 T-1		V-42 T-1								V-47 T-3																						
	2	V-43 T-1														V-49 T-3																		
	3	V-52 T-1								V-49 T-1			V-51 T-1																					
	4											V-53 T-1																						
	5	V-40 T-1								V-54 T-1			V-49 T-2		V-54 T-3																			
	6			V-46 T-1																														
	7			V-41 T-2																														
	8	V-41 T-1		V-43 T-2																														
Fossa	9							V-43 T-4					V-54 T-2																					
	10	V-36 T-1																																

6.10 Dados e planeamento de sexta-feira com mais 2 operadores

Tempos orçamentados de cada viatura a planear na 6ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tempo de		Tipos de tarefas									
	Entrada	Entrega	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
46	0	96	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-
53	0	48	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-
54	0	48	-	-	-	-	-	2	12	-	-	-
55	0	48	-	12	-	-	12	-	-	-	-	-
56	0	96	42	-	-	-	-	-	-	-	6	9
57	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-
58	0	96	-	-	-	-	72	-	-	-	-	-
59	0	96	-	21	-	-	-	-	-	16	-	-
60	0	96	-	-	-	-	-	18	10	-	6	9
61	48	96	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-
62	48	96	-	-	-	-	-	10	10	16	-	-
63	48	96	-	-	-	-	-	-	-	16	6	9
64	48	96	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	0	96	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-

Sequência das tarefas por viatura para 6ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tipos de tarefas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
46	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
54	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
55	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-
56	3	-	-	-	-	-	-	-	1	2
57	-	-	-	-	-	1	2	3	-	-
58	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
59	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-
60	-	-	-	-	-	3	4	-	1	2
61	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
62	-	-	-	-	-	2	3	1	-	-
63	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3
64	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-

Planeamento de 6ª feira com mais 2 operadores

Viatura	Tarefa	Tipo de Tarefa	Operador	Posto de Trabalho	Duração	Início	Conclusão	Estado
46	1	4	2	6	12	0	12	Concluída
53	1	5	1	4	12	0	12	Concluída
54	1	6	4	5	2,4	0	2,4	Concluída
	2	7	6	11	13,2	2,4	15,6	Concluída
55	1	5	1	1	9,6	12	21,6	Concluída
	2	2	2	2	11,4	21,6	33	Concluída
56	1	9	5	12	6	16,6	22,6	Concluída
	2	10	7	12	9	22,6	31,6	Concluída
	3	1	6	1	46,2	31,6	77,8	Concluída
57	1	6	4	2	8	49	57	Concluída
	2	7	4	11	8	57	65	Concluída
	3	8	3	9	12,8	65	77,8	Concluída
58	1	5	9	7	72	0	72	Concluída
59	1	8	4	3	16	2,4	18,4	Concluída
	2	2	3	6	23,1	18,4	41,5	Concluída
60	1	9	5	12	6	0	6	Concluída
	2	10	7	12	9	6	15	Concluída
	3	6	4	5	14,4	18,4	32,8	Concluída
	4	7	5	11	9	32,8	41,8	Concluída
61	1	3	1	10	19,8	58	77,8	Concluída
62	1	8	3	8	12,8	48	60,8	Concluída
	2	6	5	4	9	60,8	69,8	Concluída
	3	7	4	11	8	69,8	77,8	Concluída
63	1	8	2	9	14,4	48,4	62,8	Concluída
	2	9	8	12	6	62,8	68,8	Concluída
	3	10	7	12	9	68,8	77,8	Concluída
64	1	1	2	5	14,4	62,8	77,2	Concluída
65	1	5	1	5	14,4	43,6	58	Concluída

Cronograma dos operadores e postos de trabalho de 6ª feira com mais 2 operadores

Planeamento Oficial-Operadores																
6ª Feira																
Horas	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00
UTs	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
1	V-53 T-1	V-55 T-1						V-65 T-1	V-61 T-1							
2	V-46 T-1			V-55 T-2				V-63 T-1	V-64 T-1							
3			V-59 T-2					V-62 T-1	V-57 T-3							
4	V-59 T-1	V-60 T-3						V-57 T-1	V-57 T-2	V-62 T-3						
5	V-60 T-1	V-56 T-1			V-60 T-4				V-62 T-2							
6	V-54 T-2				V-56 T-3											
7*	V-60 T-2		V-56 T-2									V-63 T-3				
8*										V-63 T-2						
9*	V-58 T-1															
Planeamento Oficial-Postos de trabalho																
Elevador	1		V-55 T-1		V-56 T-3											
	2			V-55 T-2				V-57 T-1								
	3	V-59 T-1														
	4	V-53 T-1								V-62 T-2						
	5	V-54 T-1		V-60 T-3			V-65 T-1		V-64 T-1							
	6	V-46 T-1		V-59 T-2												
	7	V-58 T-1														
	8							V-62 T-1								
Fossa	9							V-63 T-1		V-57 T-3						
	10								V-61 T-1							
Alinhar	11	V-54 T-2				V-60 T-4			V-57 T-2	V-62 T-3						
AC	12	V-60 T-1	V-60 T-2	V-56 T-1	V-56 T-2					V-63 T-1	V-63 T-3					