

**Uma ferramenta de decisão para um problema de
*Route Scheduling e Crew Assignment***

Fábio Neves Seabra da Silva Moreira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Bernardo Sobrinho Simões de Almada-Lobo

Orientador na Empresa: Eng^o. Nuno Filipe Correia de Melo Ferreira de Almeida



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2012-07-27

“Always plan ahead. It wasn’t raining when Noah built the ark.”
(Richard C. Cushing)

Resumo

A crescente competitividade empresarial sentida atualmente tem obrigado as empresas a procurar a excelência operacional a todos os níveis. Cada centímo perdido hoje, poderá fazer a diferença no dia de amanhã, sendo que a qualidade dos planos de ação tem vindo a assumir, paulatinamente, uma importância maior. Em mercados pertencentes a um mundo em constante mutação, os agentes de tomada de decisão encontram-se rodeados de fatores impossíveis de prever em tempo útil que se adicionam às habituais restrições tecnológicas, financeiras e comerciais.

Na distribuição, as mudanças de gosto, as alterações do nível de exigência, as atualizações da legislação e as enormes oscilações do preço do petróleo obrigam as empresas a adotar uma velocidade de renovação de planos humanamente impossível.

Tendo como objetivo a agilização do processo de planeamento de uma empresa real, esta dissertação aborda em pormenor o problema de escalonamento e alocação de recursos da distribuição de produtos farmacêuticos. Desenvolveu-se uma ferramenta de otimização assente na meta-heurística *greedy randomized adaptive search procedure* (GRASP), comparando as soluções obtidas com as soluções presentes na empresa. Este processo revelou-se bastante enriquecedor, não só por permitir gerar boas soluções, mas também por possibilitar a realização de um levantamento das questões mais importantes no planeamento, levando à definição de objetivos e indicadores de performance relativos à execução da atividade.

Palavras-chave: Algoritmos, Alocação, Escalonamento, GRASP, Heurísticas, Meta-Heurísticas, Pesquisa Local, Planeamento da distribuição, Programação Inteira

A decision tool for a route scheduling and crew assignment problem

Abstract

The growing managerial competitiveness felt nowadays, challenges companies to search for operational excellence at every level. Every penny lost today, may make the difference tomorrow, being the quality of action plans assuming, gradually, more and more importance. Markets are embedded in a constantly changing world and the decision makers are surrounded by unpredictable factors in addition to the most well-known technological, financial and commercial restrictions.

In distribution, the changes of the taste, the variations in the requirement level, the law updates and the enormous swings in the petroleum price force companies to change plans at a huge rate.

With the aim to speed up the distribution planning process of a real company, this dissertation studies the route scheduling and crew assignment problems in pharmaceutical distribution. It was developed an optimization tool based on the greedy randomized adaptive search procedure (GRASP) meta-heuristic, comparing the obtained solutions with the ones used by the company up to the moment. This process revealed itself to be quite advantageous, allowing the company to obtain good solutions and providing the definition of objectives and key performance indicators related to the company's activity.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador Bernardo Almada Lobo por todo o apoio oferecido durante a realização deste trabalho. Tem sido uma inspiração desde o momento em que o conheci, motivando e aconselhando de uma forma inigualável, espelhando toda a experiência que possui. Sinto-me, de facto, privilegiado por ter a oportunidade de trabalhar com tamanho talento.

Agradeço todo o apoio oferecido pelo Engenheiro Nuno Almeida que se demonstrou uma pessoa bastante acessível, combinando momentos de trabalho e descontração como ninguém. Ouvi-lo e observar a forma como trabalha no dia-a-dia foi algo bastante enriquecedor, pela enorme experiência que possui na área de logística.

Estou muito grato por todo auxílio prestado pelo Hugo Ribeiro, sempre interessado pelo projeto, sugerindo melhorias e funcionando como um mentor. Excelente, também, no que toca ao equilíbrio entre trabalho e boa disposição.

À Engenheira Liliana Alves, ao Sr. Azevedo e ao Sr. Sousa, o meu sincero obrigado pelos dias de trabalho mais divertidos de sempre. Para além da diversão foram também excelentes professores na arte de reclamar com fornecedores e funcionários sempre que estes não cumprem com as suas obrigações. É de facto uma arte.

Os almoços com a Engenheira Raquel Miranda, o Francisco Cruz, a Joana Pinto, o Pedro Paiva, o Sérgio Almeida, o Pedro Miguel e a Cláudia Ribeiro tornaram os dias mais ricos. Foi bom descomprimir e partilhar experiências com estes bons amigos que adquiri.

Agradeço especialmente à minha irmã Diana e ao meu cunhado Ricardo Matos pelos conselhos e ajuda em tudo o que precisei. Será, certamente, impossível igualar a preocupação e carinho que demonstram por mim.

Obrigado Pai, obrigado Mãe, por lutarem contra tudo e todos para tornar o meu curso possível. Conseguimos! Ninguém compreenderia o valor das pequenas coisas que fazem por mim. Eu estive atento, não vou descrevê-las, não teria páginas suficientes...

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Apresentação do Grupo Medlog SGPS	1
1.1.1	Dismed S.A.....	3
1.2	Projeto “Escalonamento Dismed”	3
1.3	Metodologia.....	4
1.4	Análise comparativa de abordagens existentes e das suas vantagens e inconvenientes	4
1.5	Estudo e desenvolvimento do protótipo “Escalonamento Dismed”	5
1.6	Temas abordados e sua organização no presente relatório	5
2	Estado da arte	6
2.1	Logística.....	6
2.2	Otimização Combinatória	7
2.3	Heurísticas e meta-heurísticas	9
2.4	<i>Spreadsheets Optimization</i>	10
3	Descrição da situação atual	11
3.1	Contextualização.....	11
3.2	Processo de Distribuição Atual	11
3.3	Processo de Planeamento Atual	13
3.3.1	Construção de Rotas	13
3.3.2	Escalonamento	15
3.4	Problema Proposto	18
3.4.1	Requisitos funcionais	18
3.4.2	Requisitos não-funcionais.....	19
3.5	Objetivos do projeto	19
3.5.1	Custo Total	19
3.5.2	Penalizações de Zona	20
3.5.3	Penalizações por excesso de quilómetros.....	21
3.5.4	Ocupação dos Veículos.....	21
3.5.5	Equilíbrio de horas de trabalho	21
3.5.6	Equilíbrio de quilómetros percorridos.....	22
4	<i>Fixed Job Scheduling Problem</i>	23
4.1	Introdução	23
4.2	Modelo desenvolvido	25
4.2.1	Caracterização de entidades	25
4.2.2	Relações entre entidades	25
4.2.3	Formulação matemática	26
5	<i>Crew Assignment Problem</i>	29
5.1	Introdução	29
5.2	Modelo desenvolvido	31
5.2.1	Caracterização de entidades	31
5.2.2	Relações entre entidades	31
5.2.3	Formulação matemática	31
6	Aplicação do GRASP	35

6.1	Introdução	35
6.2	Representação da solução.....	37
6.3	Função Objetivo	38
6.4	Solução Inicial - Greedy Randomized Construction	39
6.4.1	Fase 1 - Initial Route Scheduling	40
6.4.2	Fase 2- Initial Crew Assignment	40
6.5	Local Search	40
6.5.1	Fase 1 – Route Scheduling Search	41
6.5.2	Fase 2 – Crew Assignment Search	42
6.6	Acertos Finais	43
7	Análise de resultados	44
7.1	Características do algoritmo.....	44
7.2	Recomendação de parâmetros	45
7.3	Situação atual VS situação anterior	46
7.3.1	Instância Utilizada.....	46
7.3.2	Comparação de resultados.....	47
8	Ferramenta “Escalas Dismed”	49
8.1	Introdução	49
8.2	Leitor de dados	49
8.3	Leitor de soluções	50
8.4	Melhorias de solução	50
8.5	Criador de células	50
8.6	Exportador.....	51
8.7	Criador de soluções iniciais.....	51
9	Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros	52
	Referências	54
ANEXO A:	Entidades e relações presentes no modelo de <i>Fixed Job Scheduling</i>	57
ANEXO B:	Entidades e relações presentes no modelo de <i>Crew Assignment</i>	58
ANEXO C:	Caracterização das entidades e relações presentes no modelo final	59
ANEXO D:	Representação da solução	60
ANEXO E:	Instância Utilizada.....	63
ANEXO F:	Estrutura Organizacional	68
ANEXO G:	Marcos históricos.....	69
ANEXO H:	Pseudo-código.....	71
ANEXO I:	Excertos de apresentação das empresas do grupo.....	73

Lista de abreviaturas

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CLP	<i>Container-Loading Problem</i>
CMI	<i>Clay Mathematics Institute</i>
CPM	<i>Critical Path Method</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FJS	<i>Fixed Job Scheduling</i>
GRASP	<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>
IS	<i>Interval Scheduling</i>
JSP	<i>Job Scheduling Problem</i>
MIP	<i>Mixed Integer Programming</i>
OFJS	<i>Operational Fixed Job Scheduling</i>
OFJSW	<i>Operational Fixed Job Scheduling with Worktime constraint</i>
OP	<i>Operations Research</i>
OSR	<i>Order Storage & Retrieval</i>
PDT	<i>Portable Data Terminal</i>
RCL	<i>Restricted Candidate List</i>
SAD	Sistema de apoio à decisão
SDTVA	<i>Single Depot Transit Vehicle Assignment</i>
SI	Sistema de Informação
TFJS	<i>Tactical Fixed Job Scheduling</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
VBA	<i>Visual Basic For Applications</i>
VJS	<i>Variable Job Scheduling</i>
VNS	<i>Variable Neighborhood Search</i>
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>
VSP	<i>Vehicle Scheduling Problem</i>

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução da quota de mercado dos principais <i>players</i>	2
Figura 2 - Esquema de funcionamento do sistema OSR	12
Figura 3 - Processo de Planeamento da Atividade de Distribuição.....	13
Figura 4 - Conceito de rota semifixa	14
Figura 5 - Exemplo de um Ponto completamente definido.....	15
Figura 6 - Exemplo do resultado final da fase de construção de rotas	16
Figura 7 - Exemplo de Pontos, depois de alocar os recursos Condutor e Veículo.....	17
Figura 8 - Exemplo da indicação da célula à qual pertencem os Pontos.....	17
Figura 9 - Evolução do preço do gasóleo rodoviário	20
Figura 10 - Esquematização de um problema de <i>vehicle assignment</i>	30
Figura 11 - Hierarquia de atividades no Escalonamento.....	35
Figura 12 - Comportamento da função objetivo na meta-heurística GRASP	36
Figura 13 - Exemplo de lista restrita de candidatos	36
Figura 14- Exemplo de mapa de zonas para penalização.....	39
Figura 15 - Exemplo do movimento <i>Insert</i> Rota.....	42
Figura 16 - Exemplo de movimento <i>Swap</i> Rotas	42
Figura 17 - Exemplo de movimento <i>Swap</i> Condutor/Veículo	43
Figura 18 - Evolução de objetivos e indicadores na execução do algoritmo	48
Figura 19 - Layout da ferramenta "Escalas Dismed"	49
Figura 20 - Movimentos possíveis na função de melhorias	50
Figura 21 - Opções para criação de células	51
Figura 22 - Diagrama UML caracterizador das entidades do modelo de FJS.....	57
Figura 23 - Diagrama UML caracterizador das entidades presentes no modelo de <i>Crew Assignment</i>	58
Figura 24 - Diagrama UML caracterizador das entidades presentes no modelo utilizado no algoritmo.....	59
Figura 25 - Exemplo de escalonamento de um dia.....	60
Figura 26 - Informação referente a um dia de trabalho	61
Figura 27 – Exemplo de horas de trabalho realizadas na semana por cada condutor	62
Figura 28- Mapa de zonas	67
Figura 29 - Estrutura organizacional	68
Figura 30 - Marcos históricos até 2011	69
Figura 31 - Marcos históricos no ano de 2011	70

Figura 32 – Pseudo-código do método de construção implementado 71
Figura 33 – Pseudo-código dos procedimentos da pesquisa local implementada 72
Figura 34 – Pseudo-código para o procedimento GRASP 72

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Informação sobre armazéns 2
Tabela 2 - Informação sobre zonas de atividade 2
Tabela 3 - Exemplo de matriz de penalizações 39
Tabela 4 - Efeitos dos movimentos implementados na solução 41
Tabela 5 - Pesos utilizados na função objetivo da amostra testada 44
Tabela 6 - Melhorias por movimento para cada tipo de movimento 44
Tabela 7 - Desvio padrão e coeficiente de variação por objetivo 45
Tabela 8 - Resultados do teste *Anova One-Way* 45
Tabela 9 - Comparação de resultados com uma boa solução na ótica da empresa 47
Tabela 10 - Comparação de resultados em termos médios 47
Tabela 11 - Exemplo de célula 51
Tabela 12 - Dados dos condutores 63
Tabela 13 - Dados dos veículos 64
Tabela 14 - Dados das rotas 65
Tabela 15 - Matriz de penalizações 66

1 Introdução

A presente dissertação insere-se na unidade curricular de Projeto de Dissertação em Empresa, pertencente ao Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O projeto decorreu na Dismed, uma empresa de distribuição farmacêutica e abordou o processo de planeamento da atividade de distribuição. Nomeou-se o projeto de “Escalonamento Dismed”, devendo dar origem a uma ferramenta denominada “Escalas Dismed”.

1.1 Apresentação do Grupo Medlog SGPS

A empresa onde decorreu o projeto, a Dismed, pertence ao grupo Medlog SGPS S.A., cuja empresa mãe é a Cooprofar C.R.L.. Este grupo oferece um serviço de distribuição farmacêutica e apresenta um conjunto considerável de empresas, criadas para responder às necessidades que foram surgindo ao longo do seu percurso no mundo empresarial.

O Grupo Medlog conta com mais de 35 anos de experiência na área da Saúde. Sendo este um sector bastante vasto e onde a responsabilidade social tem um peso enorme, é de notar todo o esforço que foi feito ao longo destes anos, para conquistar um lugar ao lado dos principais *players* que atuam nesta área. O Grupo desempenha três atividades principais, designadamente a comercialização de produtos farmacêuticos de saúde, a logística farmacêutica e hospitalar e o transporte de produtos de saúde, possuindo uma oferta global de serviços que, pela forma como são disponibilizados, espelham a constante preocupação pela inovação, satisfação do cliente e criação de valor.

A constante evolução do sector é acompanhada pelo Grupo através de uma política de desenvolvimento e inovação que tem sido decisiva para suportar toda a pressão que caracteriza a competitividade na área da Saúde. A política de investimentos tem sido completamente ajustada às necessidades da Medlog, permitindo implementar novas soluções e desenvolver melhorias nos processos no sentido de responder às exigências do mercado. No Anexo G apresentam-se os marcos históricos da empresa. A evolução da quota de mercado dos principais *players* do setor apresenta-se na Figura 1, sendo que atualmente a empresa possui um valor em torno dos 12%. Note-se que a quota da Cooprofar (COO), a empresa mãe que detem a Medlog SGPS, tem crescido mesmo debaixo do clima de crise vivido atualmente, o que nem sempre aconteceu com outros concorrentes.

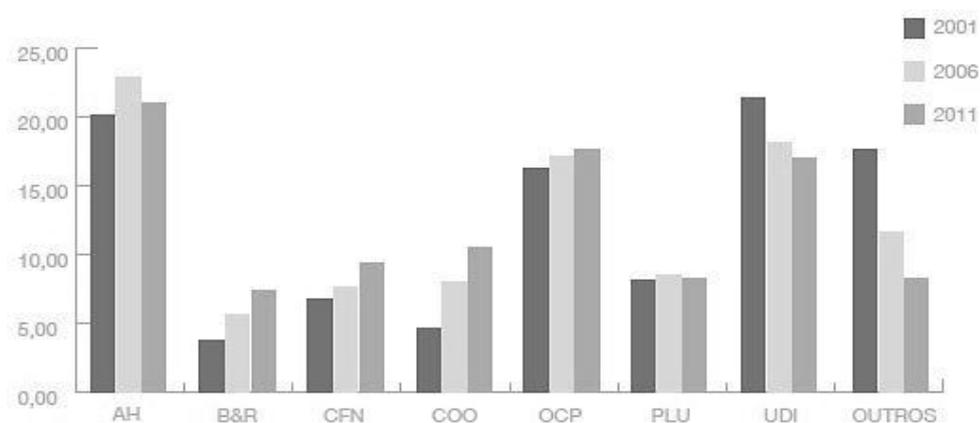


Figura 1 - Evolução da quota de mercado dos principais *players*¹

Fonte: Medlog (2011)

A Medlog possui armazéns em Alcochete, Aveiro, Gondomar, Guarda e Macedo de Cavaleiros o que permite cumprir bons prazos de entrega nas principais áreas comerciais do país. Os armazéns estão preparados para receber todo o género de produtos, mesmo que seja necessário haver controlo de temperatura. Este controlo é efetuado por meio de um sistema de climatização e controlo de humidade. A Tabela 1 apresenta a área ocupada e a de abertura de cada armazém.

Tabela 1 - Informação sobre armazéns

	Alcochete	Aveiro	Gondomar	Guarda	Macedo de Cavaleiros
Área do Armazém [m ²]	4000	1000	5500	920	1040
Abertura [mês ano]	Mar 2009	Dez 2003	Dez 2002	Mai 2007	Jan 2008

Os armazéns de Alcochete e Gondomar são considerados armazéns centrais e os restantes são denominados de plataformas logísticas. A Tabela 2 apresenta informações sobre as zonas onde se localizam os armazéns, nomeadamente a área da zona de localização dos armazéns, a respetiva população e o número de farmácias. Note-se que os valores do número de farmácias de cada zona não espelham o número real de clientes da empresa, fixado em aproximadamente 1300 (incluindo todos os tipos), visto que não se encontram representados os clientes que pertencem a áreas situadas em redor. A sede da Medlog SGPS localiza-se em Gondomar.

Tabela 2 - Informação sobre zonas de atividade²

	Alcochete	Aveiro	Gondomar	Guarda	Macedo de Cavaleiros
Área [Km ²]	128,50	199,77	133,26	712,11	699,27
População	17569	78450	168027	42541	15776
Nº Farmácias	3	21	32	11	4

¹ Siglas correspondentes a cada player: AH – Alliance Healthcare; B&R – Botelho e Rodrigues; CFN – Cofanor; COO – Cooprofar; OCP – OCP Portugal; PLU – A Plural; UDI - Udimed

² <http://www.ine.pt>

Atualmente o grupo é constituído pelas empresas Cooprofar, Dismed, LHS, Medlog e Mercafar, que constituem a base de funcionamento do grupo. Existem outras empresas e participações que poderão ser consultadas no Anexo F.

A Cooprofar é uma cooperativa que se dedica à comercialização de produtos farmacêuticos devendo ser vista como a empresa mãe de todo o grupo Medlog.

A Mercafar atua nas áreas da distribuição, promoção e representação de produtos de saúde. Esta empresa possui uma equipa de comercial cuja principal função é a promoção de produtos garantido a sua expansão a nível nacional e internacional.

A Medlog atua na área da logística de produtos de saúde assumindo-se como o operador logístico responsável pela gestão das plataformas do grupo.

A LHS é uma empresa vocacionada para a logística hospitalar. Tem o objetivo de ser o parceiro ideal para uma gestão inovadora e eficiente.

Para outras informações sobre o papel de cada empresa no grupo, apresentam-se de excertos do endereço *web* da Medlog SGPS³ no Anexo I.

1.1.1 Dismed S.A.

Como referido anteriormente, a Dismed é a empresa que lançou este projeto e será apresentada com maior detalhe. “A Dismed - Transporte de Mercadorias S.A. é uma empresa destinada à prestação de serviços de logística e transportes, sendo especializada na distribuição de produtos de saúde. Ao atuar nas áreas da Distribuição e Transporte, a Dismed prima por um serviço personalizado e inovador que lhe confere um papel de transportadora disponível, consistente, flexível, fiável e eficaz. Traçando um serviço à medida da cada cliente, a Dismed ocupa um lugar de referência no sector.”²

Note-se que a Dismed funciona como uma empresa de logística de distribuição dentro do grupo, possuindo uma frota de veículos própria que oferecem todas as condições necessárias à execução dos serviços. Para além disso, possui um portal que permite a visualização do estado das encomendas em tempo real, permitindo aos clientes conhecer a cada momento o percurso efetuado pela encomenda, a sua localização e possíveis imprevistos através de uma espécie de fórum que possibilita a execução de conversas entre os clientes e os colaboradores da Dismed. O elevado grau de integração da informação disponibilizada no portal, permite oferecer um serviço único, dificilmente replicável pelas empresas da concorrência.

A distribuição farmacêutica possui particularidades problemáticas para o planeamento da atividade. Não se pode dizer que existe um momento em que as encomendas fecham e nunca se tem conhecimento do número de farmácias que irá fazer encomendas num determinado período. A Dismed enfrenta todos os dias um desafio diferente.

1.2 Projeto “Escalonamento Dismed”

A alocação atual de veículos e motoristas às rotas de distribuição é efetuada manualmente e sem qualquer critério, isto é, tentando encontrar apenas uma solução admissível. Existe apenas uma preocupação em diminuir o número de veículos e condutores necessários à execução do plano, oferecendo uma certa estabilidade à semana de trabalho de cada

³ http://www.medlog.pt/View_Content.aspx?GenericContentId=5, visitado a 2012-06-29

trabalhador. São, posteriormente, realizados ajustes de acordo com reclamações dos motoristas e/ou outros motivos.

A necessidade de uma ferramenta capaz de realizar esta alocação de forma rápida e eficaz é cada vez mais evidente, principalmente em períodos de alteração de condições. Quando várias farmácias deixam de fazer pedidos levando à eliminação de uma rota ou quando é necessário introduzir uma nova rota no planeamento, as alterações são introduzidas sem que exista uma noção da qualidade da solução encontrada.

Assim, por forma a melhorar o planeamento da operação de distribuição, a empresa lançou o projeto de criação de uma ferramenta capaz de oferecer boas soluções medindo a sua qualidade. Esta ferramenta deverá ser capaz de resolver os problemas de escalonamento de rotas (*Route Scheduling*) e de alocação de pares motorista/veículo (*Crew Assignment*), fornecendo soluções de forma automática.

1.3 Metodologia

A realização deste projeto seguiu uma metodologia em que se começou por estudar e compreender os planos atuais da empresa de modo a poder traçar linhas de pensamento seguidas na construção dos horários de trabalho utilizados. Nesta fase, a título de exemplo, incluem-se atividades como conhecer a legislação, definir o conceito de conforto dos condutores ou perceber a forma como os motoristas são pagos. Depois, em conjunto com os responsáveis pelo planeamento da operação, definiu-se um modelo capaz de descrever todas as entidades presentes no planeamento. Desta forma, possibilitou-se o alinhamento de todos os intervenientes no projeto, ajudando-os a utilizar um determinado vocabulário e a conhecer todas as interações possíveis entre duas entidades, como é o caso de um condutor e de um veículo, por exemplo. Aquando da definição dos requisitos da ferramenta, partiu-se para a programação da mesma pesquisando, em simultâneo, as práticas mais comuns na resolução deste tipo de problemas.

A ferramenta foi submetida a um período de testes realizado em conjunto com os responsáveis pela operação de distribuição na empresa, no sentido de validar os seus *outputs*.

1.4 Análise comparativa de abordagens existentes e das suas vantagens e inconvenientes

Como referido, o planeamento surgia de um método puramente iterativo, sem haver qualquer sensibilidade para distinguir uma boa de uma má solução. De facto, no momento em que iniciou o projeto “Escalonamento Dismed” não havia sequer conhecimento do custo de execução do planeamento em vigor, pelo menos de forma direta. Qualquer necessidade de alterações profundas exigia tempo considerável até se encontrar uma solução admissível, que correspondesse às necessidades da empresa.

Pode considerar-se como uma grande vantagem o facto de ser possível medir a qualidade do planeamento obtido e, numa questão de minutos, gerar novos planos caso existam inconvenientes. As desvantagens da utilização da ferramenta decorrem do facto de não ser possível prever certas exceções que, por vezes, surgem na prática. Ainda assim, estas situações podem ser resolvidas efetuando as alterações necessárias manualmente, sendo o impacto respetivo determinado automaticamente.

1.5 Estudo e desenvolvimento do protótipo “Escalonamento Dismed”

A dificuldade deste projeto está no facto de representar um problema real com especificações bastante singulares, pela solução ser algo que deve poder aplicar-se, por prever casos humanamente impossíveis de antecipar e por incluir bastantes pormenores decorrentes do funcionamento atual da empresa. Assim, não era expectável que a literatura oferecesse abordagens para problemas parecidos com o proposto, sendo o grande desafio transpor conceitos e métodos utilizados por outros autores para a empresa, adaptando-os da melhor forma possível.

De modo a possibilitar a realização do projeto foi efetuada uma pesquisa pelas áreas mais relacionadas com o problema em questão. Começando por conceitos mais vastos como “Otimização Combinatória”, com o objetivo de adquirir uma visão geral sobre como abordar problemas deste tipo, e restringindo para conceitos mais focados como “*Job Scheduling*”, foi possível obter conhecimentos que permitiram antecipar dificuldades no desenvolvimento da ferramenta. Conhecimentos mais técnicos, nomeadamente de programação da ferramenta, foram sendo adquiridos ao longo da conceção por meio de livros e endereços *web*.

1.6 Temas abordados e sua organização no presente relatório

O presente documento é constituído por 9 Capítulos. No Capítulo 2 apresenta-se uma revisão da literatura sobre os principais temas a abordar nesta dissertação. Pretende-se fornecer o vocabulário e algum raciocínio necessários para entender o conteúdo deste documento.

O Capítulo 3 contém uma descrição da situação atual, relatando alguns dos processos da empresa com o pormenor necessário à compreensão dos principais fatores em causa nas secções seguintes.

Nos Capítulos 4 e 5 abordam-se os dois problemas que constituem o processo de planeamento operacional na empresa. Pretende-se explicar matematicamente cada um dos problemas, delineando as fronteiras necessárias para a definição dos modelos. Estas duas secções são acompanhadas de uma revisão da literatura com o objetivo de permitir efetuar analogias com outros problemas e dar a conhecer as diferentes possibilidades dos métodos utilizados.

No Capítulo 6 explora-se a aplicação da meta-heurística utilizada para resolver, conjuntamente, os dois problemas apresentados nas secções anteriores. Explica-se o funcionamento geral do algoritmo e realiza-se um pequeno estudo acerca da sua eficiência.

O Capítulo 7 expõe os resultados obtidos pela ferramenta, efetuando uma comparação da solução utilizada na empresa com a solução oferecida pelo algoritmo.

O Capítulo 8 apresenta o aspeto geral da ferramenta, mencionando todas as funções que possibilita.

Finalmente, no Capítulo 9, retiram-se as ilações sobre o trabalho desenvolvido e são referidos trabalhos interessantes para um futuro próximo.

2 Estado da arte

2.1 Logística

Uma vez que o projeto visa a criação de uma ferramenta de auxílio ao planeamento da operação de distribuição, é de todo o interesse rever a literatura sobre esta área, salientando os principais desafios atuais.

A logística farmacêutica possui características bastante singulares. De facto, por estar relacionada com um assunto tão sério como é a saúde de pessoas, os operadores logísticos têm que assegurar a execução de certas atividades não presentes em outros negócios. Além do mais, sendo este um mercado altamente regulado, por vezes é necessário proceder a reconfigurações profundas de estratégia. Perante um contexto de crise como o que se vive atualmente, é também comum proceder-se a reconfigurações dos processos logísticos (*Logistics Reconfigurations*), procurando reduzir custos e melhorar os níveis de satisfação dos clientes. Segundo Xiaofeng and Jianhua (2006), estas reconfigurações têm o objetivo de ajustar as infraestruturas, os processos e as tarefas em resposta a alterações de mercado, melhorando o desempenho da atividade logística.

A importância da logística depreende-se com o facto de criar valor tanto para o cliente como para o fornecedor e, conseqüentemente, para os *stakeholders* das empresas. Os produtos ou serviços perdem todo o seu valor caso não sejam distribuídos a tempo e no local certo (Ballou 1997, pág. 2). Outros fatores que têm contribuído para o crescimento do peso desta atividade nas empresas são a globalização, a coerência necessária com a estratégia da empresa e a exigência cada vez maior dos clientes.

A criação de redes logísticas eficientes e o seu planeamento estratégico têm sido, nos últimos anos, áreas bastante estudadas. O desenho destas redes envolve o estabelecimento dos níveis de serviço pretendidos pelo cliente, a definição dos níveis de *stock*, a escolha da localização dos armazéns e a seleção dos modos de transporte (Ballou 1997, pág. 5).

Na indústria farmacêutica existe uma dificuldade adicional relacionada com a rastreabilidade obrigatória em todos os produtos/lotos distribuídos. Em Portugal, a legislação é maioritariamente imposta por diretivas do Infarmed (Autoridade Nacional do Medicamento e Produtos de Saúde I.P), que força os diferentes intervenientes da cadeia de abastecimento a assumir determinadas tarefas que não são necessárias noutros negócios. O bom funcionamento da logística inversa é fundamental para o cumprimento das imposições legais do Infarmed, que tem vindo a ser cada vez mais exigente em questões relacionadas com o rastreio dos produtos. O conceito de logística inversa tem evoluído ao longo dos anos, passando por vários estádios (ver De Brito and Dekker (2004) e Fernández Quesada (2003)). Uma das definições mais simples, fixada por Farris em Dekker (2004), refere que logística inversa é simplesmente o movimento de bens de um consumidor para o produtor num canal

de distribuição. Outras definições mencionam atividades bastante comuns em logística inversa como substituir, reciclar e reutilizar materiais.

2.2 Otimização Combinatória

De modo a possibilitar um melhor entendimento sobre a área à qual pertencem os problemas do mesmo tipo do desafio proposto, será feita uma pequena descrição dos principais conceitos e desafios tratados atualmente. O desafio proposto insere-se num conjunto de problemas abordados em otimização combinatória (*Combinatorial Optimization*), denominados planeamento de escalas ou escalonamento (*Scheduling Problem*).

O interesse dos problemas de otimização combinatória reside no facto de a maior parte dos problemas reais lidar com entidades indivisíveis, como é o caso de pessoas, aviões e máquinas. Para além disto, o conjunto de soluções admissíveis, apesar de ter uma dimensão enorme, é formulável utilizando procedimentos que transformam todas as possibilidades lógicas em restrições lineares. A este tipo de problemas dá-se o nome de *mixed-integer linear optimization problems*. Este tipo de problemas pertence ainda a uma classe de problemas denominados *NP-hard problems*, para os quais não existem algoritmos capazes de os resolver eficientemente (Hoffman 2000). Na verdade, existem problemas cujo conjunto de soluções admissíveis é tão vasto, que mesmo num computador que consiga avaliar soluções a uma velocidade de um trilião (10^{12}) de soluções por segundo, desde o *Big Bang*, não teriam sido analisadas todas as soluções possíveis até aos dias de hoje (Ropke 2005, pág 5).

Segundo Du and Pardalos (1998) a otimização combinatória é uma das áreas mais utilizadas em investigação operacional, ciências da computação e matemática aplicada. É utilizada na resolução de problemas, tais como o desenho de redes de comunicações, o desenho de *Very-Large-Scale Integrators*, o *machine vision*, o escalonamento de tripulações em companhias aéreas, o planeamento em organizações, os sistemas CAD-CAM, a biologia computacional, entre outros.

Ainda demonstrando a importância de métodos de otimização para este tipo de problemas, Lawler (2001) declara que estes métodos acabaram por mudar a forma de pensar dos optimizadores, sendo que hoje não se questiona “Quantas combinações existem?” ou “Esta combinação é possível?”, mas sim “O que é uma boa combinação?”. Este tipo de problemas muito dificilmente poderia ser tratado há algumas décadas atrás pela simples razão de não haver poder computacional capaz de os resolver.

Com os avanços tecnológicos no universo informático e sendo que a utilidade destes métodos se tornou unânime entre todos os interessados em investigação operacional, começou-se a formar classes de problemas bastante comuns e de aplicação não muito complexa. Abaixo estão descritos alguns problemas tratados em otimização combinatória, apresentados por Lawler (2001), no sentido de fornecer uma visão geral das possibilidades destes métodos.

Arc-Covering Problem

Um arco (i, j) passa pelos nós i e j . Este problema consiste em descobrir o menor conjunto de arcos que podem ser escolhidos de modo a que cada nó do grafo G seja visitado pelo menos uma vez.

Arc-Coloring Problem

Pretende-se colorir os arcos de um grafo G , sendo que os arcos de cada circuito não sejam todos da mesma cor. Qual é o número mínimo de cores para executar essa tarefa?

Min-Cut Problem

Pretende-se encontrar um conjunto de arcos que, quando removidos de um grafo G , esse grafo torna-se desconectado. Qual é o conjunto de arcos com distância mínima capaz de atingir o objetivo?

Spanning-Tree Problem

Pretende-se encontrar um conjunto de arcos que, quando removidos de um grafo G , esse grafo continua conectado. Qual é o conjunto de arcos com distância máxima capaz de atingir o objetivo?

Shortest Path Problem

Este problema consiste em descobrir o caminho mais curto entre 2 nós de um grafo G .

Assignment Problem

Dada uma matriz $W = (w_{ij})$ de dimensão n , pretende-se encontrar o conjunto de elementos W com exatamente um elemento em cada linha e em cada coluna cuja soma seja mínima.

Machine Sequencing Problem

Dado um conjunto de trabalhos com um tempo de processamento e um tempo máximo de finalização, pretende-se saber como deve ser os trabalhos sequenciados de forma a minimizar os trabalhos realizados com atraso.

Como seria de esperar, foram já implementadas soluções em casos reais bastante interessantes, comprovando a aplicabilidade destes métodos. Vance et al. (1997) resolveram um problema de alocação de tripulações a horários de voo, respeitando todas as restrições impostas pela *Federal Aviation Administration* (FAA). Desaulniers et al. (1997) apresentam também uma aplicação prática num problema de alocação de tripulações da *Air France*, tendo obtido resultados interessantes, melhorando a solução utilizada pela empresa até ao momento. Note-se que o planeamento das operações das companhias aéreas tem uma importância vital para a competitividade das empresas, e confiar num algoritmo para o executar demonstra a enorme aceitação dos métodos de resolução de problemas combinatórios. Existem outras aplicações a problemas menos complexos e de menor responsabilidade como é o caso da construção de horários em faculdades. Santiago-Mozos et al. (2005) apresentam uma aplicação de um algoritmo para criar horários personalizados na *Telecommunication Engineering School* na Universidade de Vigo, tendo obtido bons resultados. São também bastante comuns aplicações a problemas de dimensionamento de lotes com ponderação da sequência de *setups* com o objetivo de minimizar custos de produção. de Araujo, Arenales, and Clark (2008) utilizaram uma formulação *Mixed Integer Programming* (MIP) para resolver problemas de *lot-sizing* em pequenas fundições do Brasil.

Muitas vezes a descrição do problema real é bastante vaga. No entanto, um bom modelo não pode ser ambíguo, isto é, todo o indivíduo (minimamente qualificado para o efeito) que o leia, deve entender sempre a mesma ideia representada por este. Essa clareza pode ser conseguida através da utilização de notação matemática ou texto. É necessário que o modelo

represente o problema da vida real razoavelmente bem, ou seja, o pormenor deve estar de acordo com os resultados pretendidos, não sendo necessário captar todos os detalhes presentes na realidade. Quanto mais simples for o modelo, melhores serão as suas condições de resolução. Transformar o modelo em versões mais simples de resolver (em que para os mesmos *inputs* se obtêm os mesmos resultados) pode também constituir enormes desafios, cabendo ao autor da solução a tarefa de tomar as melhores decisões (Ropke 2005, pág. 5).

2.3 Heurísticas e meta-heurísticas

Os problemas supracitados, quando impossíveis de resolver deterministicamente, necessitam sempre de técnicas que permitam construir e encontrar melhorias nas soluções que estão a analisar, visto que é simplesmente impossível analisar todas as soluções admissíveis. Podem definir-se três métodos de resolução de problemas *NP-Hard* (problemas que não se resolvem por métodos exatos num tempo aceitável): algoritmos de aproximação (*approximation algorithms*), métodos exatos (*exact methods*) e heurísticas (*heuristics*) (Ropke 2005, pág. 6).

Algoritmos de aproximação são considerados uma classe de heurísticas que fornecem uma solução e dão uma medida da diferença em relação à solução ótima.

Os métodos exatos garantem a solução ótima desde que lhes sejam dados tempo e espaço ilimitados. Estes métodos devem utilizar técnicas mais inteligentes do que a simples análise de todo o conjunto de soluções possíveis, dada a impossibilidade de concluir essa tarefa na prática. Apesar de tudo, não se pode esperar que estes métodos consigam resolver problemas *NP-Hard* em tempo polinomial, a não ser que $NP = P$ (Ropke 2005, pág. 6). Fortnow (2009, pág. 1) afirma que provar ou rejeitar a possibilidade desta igualdade é um dos problemas matemáticos de maior importância atualmente, importância que cresce com a evolução do poder de cálculo dos computadores. Note-se que este problema é um dos sete desafios lançados pelo CMI (*Clay Mathematics Institute*⁴) no concurso *Millenium Prize* cujo prémio é de um milhão de dólares para quem o resolver.

Heurísticas são métodos de resolução que rapidamente encontram soluções admissíveis com alguma qualidade. Visto que são bastante céleres e respondem bem a problemas com um grande conjunto de soluções admissíveis, costumam ser utilizadas em problemas reais (Ropke 2005, pág. 6). Dependendo do tipo de problema, existem várias classificações para heurísticas. A título de exemplo, num estudo sobre *Vehicle Routing Problems* (VRPs) – Problemas de roteamento de veículos, Ropke (2005, pág. 30) distingue três classes principais: heurísticas de construção, heurísticas de melhoria e meta-heurísticas. Já Laporte and Semet (2002), na classificação de heurísticas para VRPs, prefere uma classificação de duas classes: heurísticas clássicas e meta-heurísticas. Divide ainda as heurísticas clássicas em *constructive heuristics*, *two-phase heuristics* e *improvement methods*.

As Meta-heurísticas são conhecidas como algoritmos indispensáveis na abordagem de problemas de grande dimensão, pertencentes a diversas áreas. São, de facto, uma abordagem prática para resolver problemas tão complexos como os que se encontram em casos reais. Por definição, as meta-heurísticas são métodos que combinam procedimentos de melhoria locais e estratégias de nível superior para criar uma forma de escapar de mínimos locais e efetuar uma pesquisa suficientemente robusta de um determinado conjunto de soluções (Gendreau and

⁴ Mais informação disponível em <http://www.claymath.org>, visitado a 2012-06-29

Potvin 2010). A fase de melhorias locais é frequentemente denominada de *local search*. Nesta fase seleciona-se uma solução inicial x e pesquisa-se numa direção descendente, dentro de uma vizinhança $N(x)$ (Hansen and Mladenović 2001). Dada uma solução x , os vizinhos de uma vizinhança $N(x)$ são as soluções que podem ser obtidas aquando da aplicação de uma modificação elementar a x , chamada movimento (Almada-Lobo 2007).

2.4 Spreadsheets Optimization

É cada vez mais frequente utilizar folhas de cálculo como suporte a modelos de otimização. LeBlanc and Galbreth (2007) discutem a importância desta área, demonstrando as potencialidades do *Software Excel* quando conjugado com a sua linguagem de programação, o *Visual Basic for Applications* (VBA). Menciona-se a facilidade acrescida que os gestores ganham na perceção de restrições e resultados quando descritos numa folha de cálculo. Resolveu-se um problema de distribuição com enormes ganhos, descrevendo inclusivamente a programação de alguns subprogramas em VBA.

Cunha and Mutarelli (2007) apresentam uma aplicação de um problema de distribuição de revistas obtendo reduções de custo. Hegazy and Ersahin (2001) aplicam um modelo para otimizar horários de projetos, utilizando como base o *critical path method* (CPM).

3 Descrição da situação atual

3.1 Contextualização

Neste trabalho será dada especial atenção à operação de distribuição da empresa Dismed. No entanto, para que se compreenda melhor como decorre o processamento completo de uma encomenda, será feita uma pequena descrição dos processos que antecedem a atividade da empresa. O objetivo desta descrição é de oferecer uma visão geral, não se pretendendo ser exaustivo.

Os produtos, que provêm maioritariamente de laboratórios, são recebidos na receção onde se efetuam todas as tarefas que asseguram a atualização de inventários e a correta colocação dos medicamentos nas prateleiras do armazém. Note-se que cada espaço nas prateleiras contém uma referência que corresponde a um único produto. Para que todo o armazém funcione corretamente, não podem haver erros de colocação de produtos nas prateleiras.

Quando uma farmácia efetua uma encomenda, esta é recebida pelo sistema de informação da empresa (SIDIF) e são feitas algumas verificações de *stock* e de restrições que possam impedir o seu envio. Caso não exista nenhum impedimento de acordo com as políticas da empresa, a encomenda é enviada para o tapete de despache automático presente no armazém. Este tapete automático fornecido pela *KNAPP*, um fornecedor de soluções integradas de logística, pertence à categoria de equipamentos de *Sorting & Dispatch*. O tapete envia um tabuleiro que percorre todos os corredores que possuem produtos a adicionar à encomenda em preparação. Sempre que o tabuleiro passa por um produto da encomenda, um ejetor lança o produto para dentro do tabuleiro. Os produtos que não são suportados pelo tapete automático devem ser adicionados aos tabuleiros posteriormente de forma semiautomática, isto é, os operadores devem adicionar os produtos num contentor que deixará cair os produtos no tabuleiro correto, no momento em que este passar. O tabuleiro recebe a documentação necessária e é cintado, terminando a operação de preparação de encomendas que é feita pelo armazém. Nesta fase, os tabuleiros são encaminhados para a zona de expedição onde se inicia a intervenção da Dismed no processo.

3.2 Processo de Distribuição Atual

A zona de expedição é composta por esteiras para receber os tabuleiros e zonas de carga para paragem dos veículos. A alocação dos tabuleiros a cada esteira é efetuada por um sistema automático denominado *OSR (Order, Storage & Retrieval)*. Este sistema, servindo-se da informação das rotas e das encomendas de cada farmácia, atribui tabuleiros às esteiras segundo um algoritmo. É perfeitamente possível alocar dois tabuleiros seguidos que pertencem a rotas e farmácias diferentes, sendo que estes são organizados pelo equipamento.

Durante o transporte dos tabuleiros da zona do armazém para a zona de expedição existe a possibilidade de os motoristas procederem ao carregamento daqueles que já chegaram às esteiras. Nesta fase, cada motorista deve ler o código de barras do tabuleiro, avisando o sistema de informação de que o tabuleiro foi carregado no veículo. O leitor de código de barras está inserido num dispositivo denominado *Portable Data Terminal* (PDT). Este aparelho fornece todo o tipo de informações úteis à prossecução das tarefas dos motoristas.

Quando todas as encomendas de um determinado veículo estiverem carregadas no mesmo, o motorista pode conferir se a carga da rota está completa, no PDT. Caso não exista nenhuma encomenda ainda a ser preparada pelo armazém, o motorista está autorizado a fechar o mapa, preencher e atualizar todos os documentos necessários para prosseguir viagem.

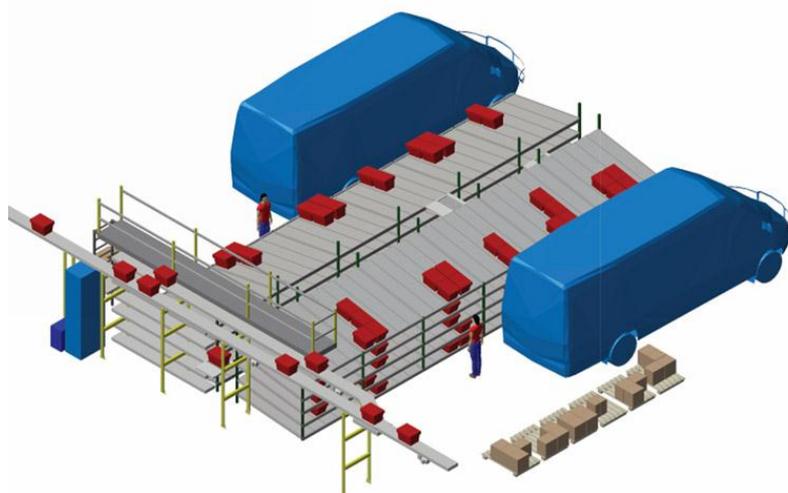


Figura 2 - Esquema de funcionamento do sistema OSR

Fonte: KNAPP (2012)

No decorrer da viagem, os motoristas param perto das farmácias e retiram os tabuleiros a entregar. No ato da entrega, o motorista deve fornecer a informação de que chegou a determinada farmácia (lendo um código de barras no mapa) e recolher a assinatura do responsável pela receção das encomendas na farmácia, tratando também de documentos obrigatórios. Pode haver, também, a necessidade de efetuar uma recolha de tabuleiros contendo produtos fora do prazo, produtos que foram trocados ou outro tipo de reclamações. Note-se que toda esta informação é atualizada em tempo real no portal *online* da empresa.

Depois de ter entregado todas as encomendas, o motorista regressa à empresa, descarrega o veículo e trata de toda a documentação necessária. Pode haver necessidade de carregar alguns dados do PDT para o sistema de informação (SI) da empresa. Caso o motorista esteja no final do seu dia de trabalho ou na sua hora de almoço, pode levar o veículo para casa.

É de salientar o facto de toda a operação ser descrita em tempo real no sistema de informação da empresa, disponibilizando todos os dados necessários para que se possa analisar e controlar o desempenho da equipa de motoristas. Assim, é possível saber a que hora cada motorista passou em cada local, quantos quilómetros percorreu, que tabuleiros foram entregues e a que hora se imprimiu os mapas.

Existem inúmeros pormenores, provenientes de situações do dia-a-dia da empresa, cujo conteúdo não é fulcral para a compreensão deste documento. Deste modo prosseguir-se-á para a descrição do planeamento da atividade de distribuição.

3.3 Processo de Planeamento Atual

O planeamento atual é composto por duas partes principais, a construção de rotas e o escalonamento, que serão descritas nas secções 3.3.1 e 3.3.2 respetivamente. A Figura 3 esquematiza o processo de planeamento na sua totalidade. O processo inicia-se pela reunião dos *inputs* necessários para a construção de rotas onde se otimizarão os percursos a efetuar pelos veículos. O *output* desta atividade servirá de *input*, juntamente com os dados dos veículos e dos motoristas, para a fase do escalonamento onde se realizam três atividades, designadamente a construção de pontos, a alocação de motoristas e veículos e a construção de células. O *output* da fase de escalonamento é o plano semanal da atividade da Dismed.

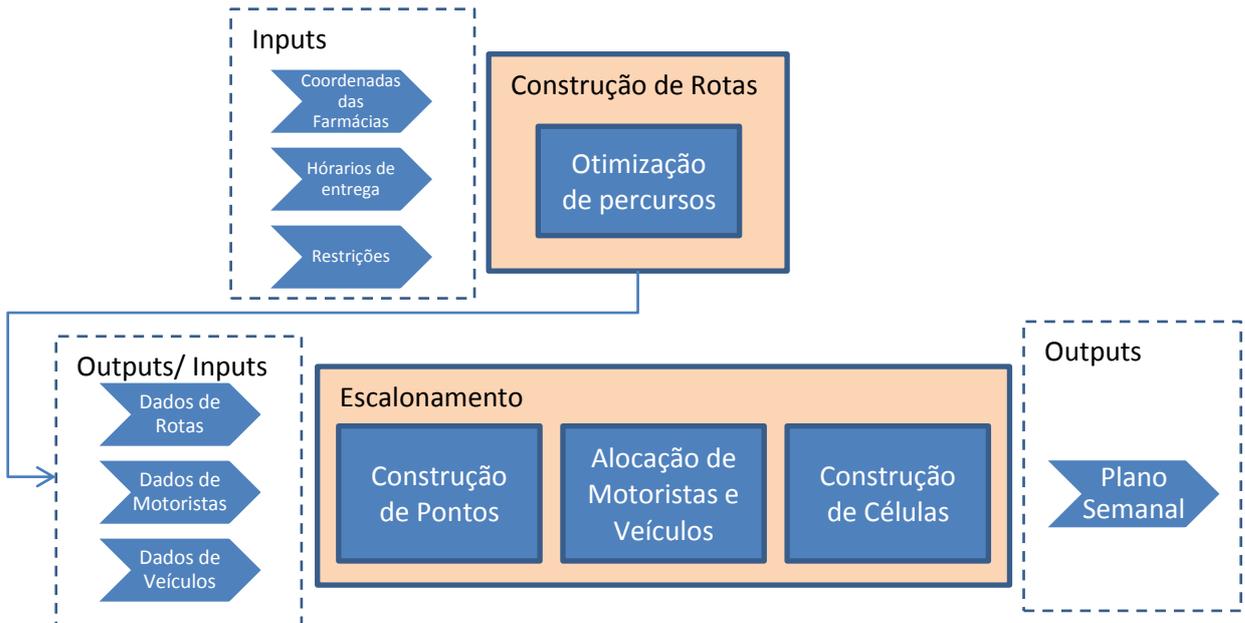


Figura 3 - Processo de Planeamento da Atividade de Distribuição

3.3.1 Construção de Rotas

O planeamento da atividade de distribuição inicia-se com a construção das rotas que serão realizadas pelos motoristas da empresa. Esta tarefa possui algumas características que complicam a sua materialização, ou seja, o fosso da aplicabilidade de métodos de planeamento entre problemas académicos e este problema é enorme. De facto, por existirem demasiadas situações impossíveis de planear, torna-se praticamente inexequível prever todos os eventos necessários para descrever a atividade por um modelo. Quando assim é, a melhor solução passa por procurar modelos de aproximação que se revelam menos precisos mas bastante mais simples. Como se sabe, quando se efetuam simplificações deste género, os pressupostos dos modelos assumem maior relevância e devem ser estudados cuidadosamente, visto que as soluções obtidas serão submetidas a testes reais. O método utilizado para a construção das rotas da Dismed surge como uma tentativa de conjugar boas condições de trabalho com o nível de serviço exigido pelas farmácias, devendo prever os seguintes factos:

- As farmácias são estabelecimentos que podem estar abertos ao público a qualquer hora do dia. Podem estar de serviço permanente, serviço de reforço ou serviço de disponibilidade⁵.

⁵ As definições de cada um dos estados das farmácias podem ser consultadas, em pormenor, no endereço <http://www.farmaciaservico.com>, visitado a 2012-06-29

Desta forma, é possível receber pedidos a qualquer hora do dia e não existe um momento em que os pedidos fecham.

- As farmácias são estabelecimentos muito exigentes quanto ao horário de entrega. Atrasos de 5 minutos dão normalmente origem a reclamações e, por isso, a janelas de entrega devem ser obrigatoriamente cumpridas. Note-se que é fácil para um farmacêutico mudar de fornecedor, bastando marcar outro número no telefone ou enviando a encomenda eletronicamente para um outro concorrente.

- Existem várias exceções no que toca ao procedimento de entrega dos tabuleiros nas farmácias. Pelo facto de não se entregar apenas em farmácias (mas também em lojas de saúde) os tempos de descarga no destino são bastante variáveis tornando impossível a definição de um único valor. Como é possível perceber, também não se conhece *a priori* quais os clientes que irão fazer pedidos num determinado dia, o que dificulta bastante a definição da capacidade de carga dos veículos. A hora a que cada pedido é efetuado é também definida pelo cliente, não havendo qualquer hipótese de a prever sem erro.

- Pode pensar-se que seria possível definir rotas à hora de saída dos motoristas, caso existisse uma ferramenta capaz de executar rapidamente. No entanto, tal tarefa não é exequível na prática. Note-se que os tabuleiros apenas poderiam ser encaminhados para as esteiras depois do processo de otimização, visto que só então se saberia que veículos iriam transportá-los. Os motoristas apenas poderiam começar a carregar os veículos no momento em que a otimização estivesse concluída. Por último, existiria a grande desvantagem de os motoristas estarem até ao último momento sem saber que tipos de rota iriam fazer, o que é complicado em termos práticos visto que nem todos conhecem as mesmas zonas. Na realidade, este tipo de otimização iria criar problemas que prejudicariam e até poriam em causa a execução da tarefa de distribuição.

Por estes motivos, foi necessário encontrar um método alternativo que permitisse oferecer alguma estabilidade à semana de trabalho dos motoristas e, ao mesmo tempo, possibilitasse a oferta de um nível de serviço de acordo com as exigências dos clientes. Assim, chegou-se a um conceito de planeamento assente em rotas semifixas, o que significa que se agrupam farmácias por zonas, criando rotas de possíveis pontos de entrega. A título de exemplo, uma rota poderá ter por defeito sete locais de entrega no sistema, no entanto, pode não ser necessário visitá-los a todos por não realização de pedidos (Figura 4). Neste caso o motorista segue viagem sabendo que não irá passar por todos os pontos de entrega. Existe aqui uma oportunidade de melhoria relacionada com a otimização de percursos, dentro da mesma rota, apesar de não se acreditar em ganhos substanciais visto que os motoristas conhecem bem as zonas, ultrapassando problemas práticos como por exemplo o trânsito.

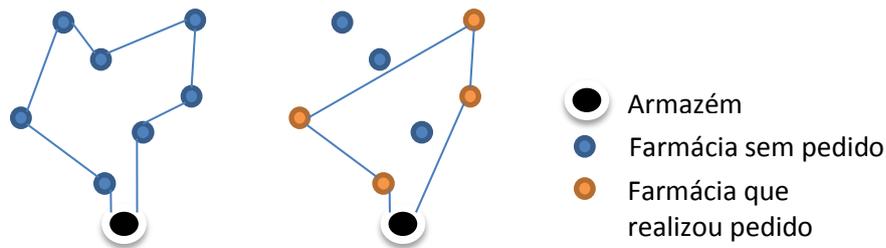


Figura 4 - Conceito de rota semifixa

A criação das rotas semifixas, que contêm todos os clientes, é efetuada com o auxílio de um otimizador de rotas comercial, denominado *Tour Solver*. Para além de definir rotas com todo o tipo de restrições que se possa imaginar, este *software* permite ainda efetuar alterações

manualmente, recalculando a solução rapidamente. É uma ferramenta poderosa para uma primeira abordagem, sendo necessário ter em atenção aos casos excepcionais do dia-a-dia, que podem obrigar a alterações manuais.

Uma vez criadas as rotas que irão permitir entregar as encomendas nos seus destinos dentro da janela temporal exigida, é necessário definir os motoristas e os veículos que ficarão responsáveis pela sua execução. É nesta fase que se torna necessária a utilização da ferramenta que impulsionou a abertura deste projeto.

3.3.2 Escalonamento

A atribuição de motoristas e veículos às rotas possui também particularidades que a tornam numa tarefa complexa. Na Dismed, podem destacar-se três fases diferentes durante a construção de um escalonamento: a construção de pontos (ou escalas), a atribuição de condutores e veículos e a criação de células. No sentido de possibilitar um melhor entendimento de cada uma destas fases, apresenta-se de seguida uma descrição detalhada das mesmas, visto que o projeto incidirá maioritariamente nesta fase.

3.3.2.1 Construção de Pontos

A primeira fase do planeamento corresponde à atribuição de rotas a cada ponto de modo a definir um dia de trabalho. Descrevendo esta entidade, um ponto é definido pelas propriedades coleção de rotas, condutor e veículo. Como se pode observar na Figura 5, a sua representação gráfica corresponde a um conjunto de barras, à semelhança de um diagrama de Gantt, indicando os intervalos temporais, em que serão desempenhadas as tarefas que lhe pertencem. Na primeira coluna pode observar-se o nome do ponto e nas duas últimas a identificação do condutor e do veículo que irão realizar o ponto. No exemplo, o “Condutor 1” irá realizar três rotas utilizando o “Veículo 1”.

	07:00 h	07:15 h	07:30 h	07:45 h	08:00 h	08:15 h	08:30 h	08:45 h	09:00 h	09:15 h	09:30 h	09:45 h	10:00 h	10:15 h	10:30 h	10:45 h	11:00 h	11:15 h	11:30 h	11:45 h	12:00 h	12:15 h	12:30 h	12:45 h	13:00 h	13:15 h	13:30 h	13:45 h	14:00 h	14:15 h	14:30 h	14:45 h	15:00 h	15:15 h	15:30 h	15:45 h	16:00 h	16:15 h	16:30 h	16:45 h	17:00 h	17:15 h	17:30 h	17:45 h	18:00 h	18:15 h	
Ponto 1		Rota 1				Rota 2			Almoço		Rota 3																																			Condutor 1	Veículo 1

Figura 5 - Exemplo de um Ponto completamente definido

Apesar de, no final do planeamento, o ponto possuir um condutor e um veículo, nesta fase não existe a preocupação de alocar os pares condutor/veículo, sendo que apenas a propriedade “Coleção de Rotas” receberá atenção.

Para construir pontos, o planeador necessita dos dados das rotas contendo os intervalos temporais em que cada rota deve ser percorrida. Repare-se que estes intervalos são fixos, não podendo haver atrasos nem antecipações. Para além disso, as rotas devem possuir uma designação dos dias em que serão realizadas, visto que nesta fase do planeamento o horizonte temporal é de uma semana. Saliente-se que aqui, os condutores e os veículos são deixados de parte, pretendendo-se apenas criar dias de trabalho equilibrados, onde cada ponto possua um número de horas e quilómetros o mais próximo possível da média. O planeador deve também preocupar-se em juntar rotas com características semelhantes, preparando a próxima fase.

Note-se que o indivíduo que concretiza esta parte do planeamento deve ter a perfeita noção de todas as restrições relacionadas com a legislação em vigor, políticas da empresa e outros aspetos da própria operação. Só assim será possível encontrar uma solução possível de se aplicar na prática. Assim, sabendo que cada ponto irá posteriormente ser realizado por um par condutor/veículo, deve prestar-se especial atenção às restrições seguintes:

R1: Cada condutor apenas pode conduzir um determinado número de horas por dia. Em Portugal os condutores de veículos de classe 2, utilizados pela Dismed, estão autorizados a conduzir um máximo de nove horas por dia. Desta forma o número horas de condução do ponto não poderá exceder este valor;

R2: Não é permitido conduzir um determinado número de horas sem fazer um intervalo. Em Portugal os condutores não podem conduzir mais de cinco horas seguidas;

R3: Uma semana de trabalho tem um máximo de horas de trabalho normal possíveis. Em Portugal este máximo está fixado em 40 horas;

R4: Os tempos de almoço devem ter uma duração não inferior a um determinado valor. Em Portugal os almoços devem ter uma duração de uma a duas horas;

R5: O conjunto de rotas pertencente a cada ponto, deve conter rotas cujos intervalos em que se realizam não se intersetem, ou seja, o condutor apenas pode efetuar uma rota de cada vez. Logicamente que esta restrição também deve ser tida em conta relativamente aos intervalos, sendo que durante os períodos de paragem (como o almoço), o condutor não pode estar a trabalhar;

R6: É obrigatório que todas as rotas se realizem, sendo que cada uma deve estar associada a um único ponto, em cada dia;

R7: Não é possível haver qualquer tipo de alteração nas características das rotas sem haver uma validação do indivíduo responsável pela construção de rotas (descrita no em 3.3.1).

Atualmente a construção de pontos é realizada manualmente, sem qualquer tipo de critério. O objetivo do planeador acaba por ser apenas o de encaixar todas as rotas nos pontos, respeitando as restrições supracitadas, encontrando uma solução que minimize o número de pontos necessário para efetuar todas as rotas. Note-se que minimizar o número de pontos nesta fase, fará com sejam necessários menos veículos e condutores na fase seguinte. No entanto, não existe uma medição da qualidade de cada solução nem dos custos resultantes do planeamento, sendo esse um dos objetivos deste projeto. Na Figura 6 apresenta-se um exemplo do resultado final da construção de pontos para 8 rotas. Repare-se que ainda não existe a informação do condutor e motorista que irão realizar cada ponto.

07:00 h	07:15 h	07:30 h	07:45 h	08:00 h	08:15 h	08:30 h	08:45 h	09:00 h	09:15 h	09:30 h	09:45 h	10:00 h	10:15 h	10:30 h	10:45 h	11:00 h	11:15 h	11:30 h	11:45 h	12:00 h	12:15 h	12:30 h	12:45 h	13:00 h	13:15 h	13:30 h	13:45 h	14:00 h	14:15 h	14:30 h	14:45 h	15:00 h	15:15 h	15:30 h	15:45 h	16:00 h	16:15 h	16:30 h	16:45 h	17:00 h	17:15 h	17:30 h	17:45 h	18:00 h	18:15 h
Rota 1				Rota 2				Almoço				Rota 3																																	
Rota 4				Rota 5				Almoço				Rota 6																																	
				Rota 7				Almoço				Rota 8																																	

Figura 6 - Exemplo do resultado final da fase de construção de rotas

3.3.2.2 Alocação de Motoristas e Veículos

Finda a criação dos pontos que irão ser incluídos no plano semanal, o planeador deve selecionar um conjunto de motoristas e veículos. Esta tarefa irá preencher as duas propriedades em falta, permitindo definir o tipo de condutor e veículo que irá realizar determinado ponto.

Para que fique claro, não é indiferente alocar um qualquer par condutor/veículo a um ponto. De facto, é necessário ter em atenção todas as limitações presentes na relação entre as propriedades do ponto e as propriedades dos recursos necessários para o realizar. Assim, quando se aloca um par condutor/veículo, é necessário verificar as restrições seguintes:

R8: Um condutor, num determinado dia, só pode ser alocado a um ponto;

R9: Um veículo, num determinado dia, só pode ser alocado a um ponto;

R10: Para que um veículo possa ser alocado a um ponto, deve ter capacidade de carga para transportar os tabuleiros previstos em cada um dos elementos presentes na coleção de rotas;

R11: Um condutor só pode ser alocado a um ponto caso essa adição não viole o número máximo de dias de trabalho numa semana. Na Dismed os condutores trabalham no máximo seis dias por semana;

R12: Por norma, um condutor deverá ter sempre uma matrícula atribuída, o que significa que conduzirá sempre o mesmo veículo na semana. Pelo facto de os condutores levarem os veículos para casa não é prático haver trocas. Por um lado, seria bastante difícil sincronizar todos motoristas de modo a que estes pudessem trocar de veículo todos os dias. Por outro lado, no caso de haver qualquer tipo de problema na viatura é mais fácil descobrir o responsável.

Apesar de haver preocupações com o equilíbrio de horas e quilómetros realizados por cada par condutor/veículo, o método de planeamento não prevê qualquer função que permita controlar estes objetivos. A ocupação dos veículos e o custo das viagens também não são tidos em conta no planeamento, o que é preocupante. A título de exemplo, caso se prestasse atenção a estes indicadores, poderia chegar-se à conclusão de que seria possível realizar todos os pontos com veículos de menor dimensão (menos dispendiosos) ou alocar veículos com os menores consumos aos pontos mais longos. Este é outro dos desafios a que este projeto pretende dar resposta.

No final desta fase deverá estar concluída a adição dos elementos indicados na Figura 7, nas duas últimas colunas.

	07:00 h	07:15 h	07:30 h	07:45 h	08:00 h	08:15 h	08:30 h	08:45 h	09:00 h	09:15 h	09:30 h	09:45 h	10:00 h	10:15 h	10:30 h	10:45 h	11:00 h	11:15 h	11:30 h	11:45 h	12:00 h	12:15 h	12:30 h	12:45 h	13:00 h	13:15 h	13:30 h	13:45 h	14:00 h	14:15 h	14:30 h	14:45 h	15:00 h	15:15 h	15:30 h	15:45 h	16:00 h	16:15 h	16:30 h	16:45 h	17:00 h	17:15 h	17:30 h	17:45 h	18:00 h	18:15 h
Ponto 1		Rota 1					Rota 2				Almoço		Rota 3																Condutor 1	Veículo 1																
Ponto 2		Rota 4					Rota 5				Almoço		Rota 6																Condutor 2	Veículo 2																
Ponto 3		Rota 7				Almoço		Rota 8																Condutor 3	Veículo 3																					

Figura 7 - Exemplo de Pontos, depois de alocar os recursos Condutor e Veículo

3.3.2.3 Construção de Células

No momento em que todos os pontos da semana estão definidos, é necessário criar células. O conceito de célula foi concebido pela empresa com o objetivo de proporcionar aos motoristas a possibilidade de rodar todas as semanas, variando o tipo de serviços a ser realizado por cada um. No fundo, esta medida é vantajosa em aspetos relacionados com a satisfação no trabalho, a diminuição da incidência de reclamações criada por motoristas menos bons e com o aumento de flexibilidade por aprendizagem de outras rotas (redução do risco). Exemplificando, na célula representada na Figura 8, o “Condutor 1” realizará o “Ponto 1” na primeira semana, o “Ponto 2” na segunda e o “Ponto 3” na terceira.

	07:00 h	07:15 h	07:30 h	07:45 h	08:00 h	08:15 h	08:30 h	08:45 h	09:00 h	09:15 h	09:30 h	09:45 h	10:00 h	10:15 h	10:30 h	10:45 h	11:00 h	11:15 h	11:30 h	11:45 h	12:00 h	12:15 h	12:30 h	12:45 h	13:00 h	13:15 h	13:30 h	13:45 h	14:00 h	14:15 h	14:30 h	14:45 h	15:00 h	15:15 h	15:30 h	15:45 h	16:00 h	16:15 h	16:30 h	16:45 h	17:00 h	17:15 h	17:30 h	17:45 h	18:00 h	18:15 h
Célula 1	Ponto 1	Rota 1					Rota 2				Almoço		Rota 3																Condutor 1	Veículo 1																
	Ponto 2	Rota 4					Rota 5				Almoço		Rota 6																Condutor 2	Veículo 2																
	Ponto 3	Rota 7				Almoço		Rota 8																Condutor 3	Veículo 3																					

Figura 8 - Exemplo da indicação da célula à qual pertencem os Pontos

Analisando o processo de criação de células, é possível reparar que este constitui um problema de formação de grupos de pontos. Deste modo é necessário destacar certas propriedades dos pontos para poder criar grupos semelhantes, que possam trocar entre si sem prejudicar a verificação de todas as restrições referidas anteriormente. Repare-se que a criação de células é uma repetição do problema de alocação de motoristas e veículos, devendo obedecer exatamente às mesmas restrições e permitindo uma boa distribuição dos motoristas pelo universo de rotas existente.

Presentemente a criação das células é realizada tendo em atenção apenas às restrições referidas, isto é, não existe qualquer preocupação com o custo, com a variedade de zonas visitadas pelo motorista ou com qualquer outro objetivo. No final obtém-se um conjunto de células nas quais os motoristas rodarão de semana para semana.

3.4 Problema Proposto

Como foi possível notar na descrição completa do processo de planeamento da atividade da Dismed (Subsecção 3.3), existem várias tarefas que são realizadas sem qualquer critério. Além disso, numa empresa, o tempo é um bem escasso e todas as oportunidades de melhoria que se encontrem não devem ser desperdiçadas. Deste modo, tornou-se necessário lançar um projeto que permitisse auxiliar os planeadores nas tarefas mais demoradas e ao mesmo tempo adicionar um carácter mais científico ao planeamento, que deve migrar para um método que permita oferecer maior controlo sobre os principais objetivos da empresa.

Este projeto tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta que permita dar auxílio à segunda etapa do planeamento: o escalonamento. Para além de libertar tempo aos colaboradores, a ferramenta deve obedecer aos requisitos recolhidos nas reuniões de arranque. Note-se que os requisitos, aqui apresentados, correspondem ao que foi acordado no arranque do projeto, todavia, como se sabe, os requisitos de ferramentas informáticas não podem ser definidos com precisão, não são estáveis e não devem ser completamente definidos antes da fase de desenvolvimento. Assim, neste tipo de projetos é normal haver alterações à lista de requisitos inicial.

3.4.1 Requisitos funcionais

Apresentam-se de seguida os requisitos funcionais aos quais a ferramenta deve obedecer:

- O modelo deve descrever as entidades intervenientes e as suas relações na atividade a planear, numa solução de compromisso entre detalhe e simplicidade;
- A ferramenta deve ser capaz de acolher os dados das rotas, veículos e condutores, lendo-os de forma célere e sem erros;
- A opção de ler soluções deve estar disponível, calculando rapidamente os seus custos;
- A ferramenta deve ser capaz de efetuar melhorias numa solução, para além ler e calcular os custos de uma solução;
- A ferramenta deve construir um plano semanal de raiz, sem que exista qualquer intervenção humana. Caso exista oportunidade, devem estudar-se e implementar-se formas de obter um plano mensal;
- A informação relativa ao planeamento deve ser calculada, sendo disponibilizada de forma simples;
- A ferramenta deve ser capaz de encontrar melhorias, indo de encontro aos objetivos do decisor;

- A ferramenta deve ter forma de controlar aspetos relacionados com a estabilidade da semana de trabalho dos motoristas, para além procurar melhorar os objetivos do decisor. Por estabilidade entenda-se poucas alterações dos pontos a realizar por cada motorista em cada dia;
- A ferramenta deve possuir um ambiente com boa usabilidade, permitindo a fácil e rápida compreensão do seu funcionamento. Deve prevenir erros de introdução de dados pelo utilizador.

3.4.2 *Requisitos não-funcionais*

Não existe qualquer restrição quanto ao tempo necessário para correr as funções da ferramenta. Este tempo deve apenas ser razoável tendo em conta a função a desempenhar, ou seja, pode afirmar-se que a principal meta será ser mais rápido do que um humano a efetuar as tarefas manualmente. Repare-se que estas tarefas incluem a construção de uma solução, o cálculo de todas as informações referentes a um determinado plano e a descoberta melhorias.

3.5 *Objetivos do projeto*

Inicialmente não existia uma noção muito clara sobre quais os objetivos a perseguir na segunda parte do planeamento da atividade (escalonamento). Uma das razões pelas quais não existia essa noção advém do facto de nunca se ter pensado muito acerca dos ganhos que um bom planeamento poderia oferecer. Deste modo, foi necessário discutir a influência de um bom e mau planeamentos nos principais indicadores da atividade, tendo como objetivo a definição dos objetivos a incluir na ferramenta, ou seja, fixar os indicadores a otimizar. Chegou-se à conclusão que seria interessante criar e encontrar melhorias nos indicadores apresentados nas secções seguintes, designadamente o custo total, as penalizações de zona, as penalizações por excesso de quilómetros, a ocupação dos veículos, o equilíbrio das horas de trabalho e o equilíbrio dos quilómetros efetuados.

3.5.1 *Custo Total*

O indicador “Custo Total” caracteriza os custos operacionais decorrentes da execução de um plano. Neste indicador estão incluídos os custos fixos dos veículos e dos condutores, os custos variáveis associados a cada veículo e o custo de horas extra de cada condutor. Note-se que os custos variáveis dos veículos dependem do consumo de cada veículo e do custo de manutenção por quilómetro.

Acordou-se que o custo total de um dia de trabalho é calculado pela expressão (3.2). O custo total da operação corresponde ao somatório dos custos totais dos dias incluídos no horizonte de planeamento de D dias, calculados na expressão (3.1). Os custos variáveis CV dos veículos são calculados multiplicando o consumo e o custo de manutenção por quilómetro pelo número de quilómetros percorridos no dia. O trabalho suplementar TS de cada condutor é calculado por uma fórmula fornecida pela empresa. Os custos fixos são também contemplados na expressão (3.2).

$$Custo_{dia\ d} = \sum_{v=1}^V CV_{veículo\ v, dia\ d} + \sum_{z=1}^C TS_{condutor\ z, dia\ d} \quad 3.1$$

$$Custo\ Total = \sum_{d=1}^D Custo_{dia\ d} + \sum_{v=1}^V CF_{veículo\ v} + \sum_{z=1}^C CF_{condutor} \quad 3.2$$

3.5.2 Penalizações de Zona

O indicador “Penalizações de Zona” foi introduzido com o objetivo de caracterizar os custos decorrentes dos quilómetros efetuados pelos condutores em viagens não relacionadas com a atividade. O facto de os condutores terem a possibilidade de levar os carros para casa durante a hora de almoço ou depois de terminar o serviço complica bastante a contabilização dos custos de viagem em dois aspetos. Em primeiro lugar, torna-se bastante difícil, na prática, criar uma matriz com todas as combinações entre rotas e condutores que espelhe a diferença de quilómetros caso o condutor não regresse à empresa. Em segundo lugar, deve ter-se em conta que a duração de uma rota também se altera caso o motorista não regresse, visto que a rota termina no momento em que a última entrega é efetuada na farmácia. O custo dos quilómetros em vazio não deve ser de todo desprezado e assume um peso cada vez maior nos custos devido à evolução do preço do gasóleo (ver Figura 9).



Figura 9 - Evolução do preço do gasóleo rodoviário

Fonte: Medlog (2011)

Deste modo, decidiu-se criar um sistema de penalizações dividido por zonas, ou seja, cada rota e cada condutor são caracterizados por uma determinada zona. Sempre que, no planeamento, se associar uma rota e um motorista de zonas diferentes, será aplicada uma penalização tanto maior quanto maior for a distância entre as duas zonas. Assim, num dia, sempre que um condutor conduzir numa rota fora da sua zona, será introduzida uma penalização, podendo um mesmo condutor ser penalizado várias vezes no mesmo dia. A expressão (3.3) deverá resultar no somatório de todas as penalizações incorridas por cada condutor em cada ponto na realização das rotas do mesmo. R_{zd} corresponde ao número de rotas a realizar pelo condutor z no dia d .

$$Penalizações_{dia\ d} = \sum_{z=1}^C \sum_{r=1}^{R_{zd}} P_{condutor\ z,rota\ r,dia\ d} \quad 3.3$$

$$Total\ Penalizações_{semana} = \sum_{d=1}^D Penalizações_{dia\ d} \quad 3.4$$

3.5.3 Penalizações por excesso de quilómetros

É comum as empresas terem o direito de utilização de uma viatura por meio de um contrato de aluguer. É também recorrente que estes contratos possuam um limite de quilómetros a partir do qual o contratante incorre num custo. Com base neste facto decidiu-se incluir um indicador que permita contabilizar os quilómetros em excesso em cada semana. Sempre que um veículo ultrapasse o valor acordado pela empresa contratada, deverá ser penalizado por um valor igual ao número de quilómetros em excesso. Na expressão (3.5), C_{vd} corresponde ao número de quilómetros realizados pelo veículo v no dia d . Por sua vez Km_v denota o máximo de quilómetros permitidos no veículo v durante a semana.

$$Total\ Pen.\ Km_{Semana} = \sum_{v=1}^V \max(0; \sum_{d=1}^D C_{veículo\ v, dia\ d} - Km_{veículo\ v}) \quad 3.5$$

3.5.4 Ocupação dos Veículos

Visto existirem rotas cujas entregas obrigam a adoção de veículos com uma volumetria superior, seria vantajoso ter uma medida da ocupação média dos veículos conseguida com um determinado planeamento. Deste modo, caso exista um determinado período do ano em que o volume das encomendas será previsivelmente mais baixo, a empresa poderá proceder a uma troca dos veículos de volumetria superior por outros menos dispendiosos. Sendo a volumetria necessária uma característica de cada rota, a ferramenta poderá a cada momento fazer uma alocação mais racional, permitindo que os veículos não viagem nem muito cheios nem muito vazios. As expressões (3.6) e (3.7) permitem estimar a média da ocupação de cada dia e a média da ocupação semanal, respetivamente.

$$Média\ Ocupação_{dia\ d} = \frac{\sum_{v=1}^V \sum_{r=1}^{R_{vd}} \frac{Ocupação_{veículo\ v, rota\ r, dia\ d}}{R_{vd}}}{V} \quad 3.6$$

$$Média\ Ocupação_{Semana} = \frac{\sum_{d=1}^D Média\ Ocupação_{dia\ d}}{D} \quad 3.7$$

3.5.5 Equilíbrio de horas de trabalho

Numa tentativa de promover a igualdade da carga horária semanal, incluir-se-á também uma medida do equilíbrio das horas de trabalho realizadas por cada condutor. Note-se que este indicador (designado por $Dif.Abs.Tempo_{Semana}$) deve ser uma medida das diferenças absolutas relativamente à média de horas de trabalho de cada dia. Não deve, no entanto, permitir que a média de horas de trabalho diário se desvie muito do valor de 8 horas caso esse facto seja provocado por excesso de recursos.

A forma de cálculo acordada é apresentada na expressão (3.8) onde T_{zd} é o tempo de trabalho do condutor z no dia d .

$$Dif. Abs. Tempo_{Semana} = \sum_{d=1}^D \sum_{z=1}^C |Média Tempo_{dia d} - T_{condutor z, dia d}| \quad 3.8$$

3.5.6 Equilíbrio de quilómetros percorridos

À semelhança do que se pretende fazer com as horas de trabalho, também a quilometragem dos veículos deve ser, tanto quanto possível, equilibrada. Como tal, definiu-se também um indicador de equilíbrio para a quilometragem dos veículos como sendo a soma das diferenças absolutas relativamente à média de quilómetros efetuados num determinado dia. Na expressão (3.9), K_{vd} é o número de quilómetros percorridos pelo veículo v no dia d .

$$Dif. Abs. Km's_{Semana} = \sum_{d=1}^D \sum_{v=1}^V |Média km's_{dia d} - K_{veículo v, dia d}| \quad 3.9$$

Resumindo, este projeto deverá resultar numa ferramenta que construa planos de atividade, aplicando um algoritmo de otimização, tornando a realização da tarefa mais lógica e eficiente. É importante referir que esta ferramenta utilizará módulos de programação em VBA a executar no *software Microsoft Excel*, visto ser um dos programas adotados pela empresa.

4 Fixed Job Scheduling Problem

4.1 Introdução

No sentido de resolver o desafio apresentado na secção anterior, foi necessário traçar uma abordagem que fosse capaz de conduzir a soluções admissíveis. Não se analisaram formas diferentes de resolver o problema atual, visto que a empresa necessitava apenas de agilizar a atividade de planeamento. O objetivo foi simplesmente enquadrar as tarefas que são resolvidas atualmente em tipos de problemas conhecidos na literatura. A construção de pontos (*Route Scheduling*), descrita na Secção 3.3.2.1, assemelha-se ao problema de *Job Scheduling*. Nos exemplos seguintes será possível efetuar uma analogia com o problema em estudo.

Baita et al. (2000) apresentaram soluções para um *Vehicle Scheduling Problem* (VSP) real. Segundo estes autores, um VSP consiste em alocar um conjunto de viagens a um conjunto de veículos, satisfazendo um grupo de restrições e otimizando uma função objetivo. Existem algoritmos eficientes para algumas versões deste problema, como é o caso em que todos os veículos são iguais e partilham um mesmo depósito.

Eliyi, Ornek, and Karakütük (2009) apresentam também um modelo para resolver um VSP real, cuja dificuldade reside nos requisitos particulares inerentes a casos práticos. Modelaram o problema como um *tactical fixed job scheduling* (TFJS), uma vez que os tempos de início e fim das viagens eram fixos e o objetivo era minimizar o custo dos veículos para realizar todas as viagens. O TFJS é um caso especial de um conjunto de problemas denominado *interval scheduling* (IS). Segundo estes autores, IS é uma área que lida com problemas onde se pretende realizar um conjunto de tarefas num conjunto limitado de recursos. Existem N trabalhos independentes para serem processados em M máquinas. Sabe-se que máquinas podem processar cada trabalho. A janela temporal do trabalho j é especificada por um *ready time* r_j e uma *deadline* d_j . O objetivo é encontrar um horário que permita realizar todos os trabalhos num período compreendido entre r_j e d_j . Se a janela temporal em que efetivamente o trabalho se realiza é variável, o problema denomina-se *variable job scheduling* (VJS). Caso contrário, se a tarefa não pode ser adiada devendo iniciar-se em r_j , o problema denomina-se *fixed job scheduling* (FJS). O tempo de processamento p_j do trabalho j é igual a $(d_j - r_j)$ no problema FJS e pode ser menor ou igual a esta diferença no problema VJS. Os problemas FJS podem ser *operational*, caso exista um valor w_j associado a cada trabalho, ou *tactical*, quando ao realizar um trabalho se incorre num custo c_j .

Arkin and Silverberg (1987) demonstraram que o OFJS é um problema *NP-complete*, sempre que o número de classes de máquinas é superior a dois.

No mesmo ano, Fischetti, Martello, and Toth (1987) resolvem um problema TFJS onde cada máquina apenas está disponível durante determinado período S (*spread time*) desde o

início da primeira tarefa, em que cada par de tarefas (T_j, T_k) realizado por máquina deverá satisfazer a condição $d_j - r_k \leq S$. Os autores demonstram que este problema é *NP-hard*. No problema em estudo a restrição relativa ao *spread time* pode ser comparada ao tempo e distância máximos a percorrer por cada ponto.

Kroon, Salomon, and Van Wassenhove (1997, pág. 192) realizaram uma interessante distinção entre problemas com uma única classe de trabalhos e máquinas e problemas com várias classes de trabalhos e máquinas. No primeiro caso, todos os trabalhos podem ser realizados em qualquer máquina. No segundo caso, cada máquina só pode processar um determinado conjunto de classes de trabalhos. O autor apresenta vários lemas interessantes, como é o caso do primeiro lema para problemas de uma única classe de trabalhos e máquinas. Este lema afirma que para que seja possível realizar N trabalhos com M máquinas, o número máximo de trabalhos cujos intervalos de execução se intersejam deverá ser menor ou igual a M .

Bouzina and Emmons (1996) apresentam um modelo de programação inteira para o problema OFJS com restrições de *working time* (OFJSW). Nesta versão, cada máquina processa apenas uma quantidade T de unidades de tempo. Note-se que este problema é diferente daqueles em que se considera um *spread time* definido pela diferença $(d_{k(l)} - r_{k(j)})$ onde $k_{(l)}$ é o primeiro trabalho e $k_{(j)}$ é o último trabalho processado na máquina k . O modelo OFJSW foi definido da seguinte forma:

Variáveis de decisão

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{se o trabalho } j \text{ é processado na máquina } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall j, k \quad 4.1$$

Função Objetivo

$$f_{obj} = \text{Max} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N w_j x_{jk} \quad 4.2$$

Sujeito a

$$\sum_{k=1}^M x_{jk} \leq 1, \quad j = 1, \dots, N \quad 4.3$$

$$\sum_{j \in P_a} x_{jk} \leq 1, \quad k = 1, \dots, M \quad a = 1, 2, \dots, z - 1 \quad 4.4$$

$$\sum_{j=1}^N x_{jk} p_j \leq T, \quad k = 1, \dots, M \quad 4.5$$

$$x_{jk} \in \{0, 1\} \quad j = 1, \dots, N \quad k = 1, \dots, M \quad 4.6$$

A função objetivo (4.2) maximiza o valor total dos trabalhos realizados. A restrição (4.3) garante que cada trabalho é realizado no máximo por uma máquina. Na segunda restrição

assegura-se que uma máquina só pode processar um trabalho num determinado período, sendo P_a o conjunto de trabalhos disponíveis no período a e z o número de períodos possíveis. A terceira restrição proíbe soluções com máquinas que trabalhem mais de T unidades de tempo. A restrição (4.6) assegura a integralidade nas alocações trabalho-máquina.

Realce-se a enorme semelhança dos problemas TFJS com o problema em estudo, quando se substitui a entidade máquina pela entidade ponto apresentada anteriormente. Pode considerar-se um modelo em que todos os veículos (neste caso pontos) são iguais. Dada a natureza das rotas, que possuem horas de início e fim definidas, parece razoável tratar a construção de pontos como um problema de FJS.

4.2 Modelo desenvolvido

Tendo em conta os objetivos e condicionantes, definiu-se um modelo matemático capaz de descrever o problema. Note-se que existem várias formas de definir um modelo para um problema, ou seja, é possível descrever modelos equivalentes que, para as mesmas instâncias, obtêm as mesmas soluções. Este modelo tem como principal objetivo definir dias de trabalho bons. Um bom dia de trabalho deve ser equilibrado em termos de horas de trabalho e quilómetros percorridos e possuir o menor número de pontos possível, de forma a aproveitar os recursos ao máximo. Note-se que nesta fase os custos das viagens e manutenção não serão abordados visto não se ter conhecimento do motorista que realizará cada serviço. Nas secções seguintes explicar-se-ão todos os detalhes necessários relativamente ao modelo desenvolvido.

4.2.1 Caracterização de entidades

O planeamento dos dias de trabalho da atividade de distribuição da Dismed lida principalmente com duas entidades/objetos: rotas e pontos.

A rota é uma entidade constituída por vários locais de entrega cujas principais propriedades de interesse para o modelo são a hora de partida e a hora de chegada. A rota é o motivo pelo qual se incorrerá num custo. É, no fundo, o trabalho a efetuar pelo par condutor/veículo, deixado de parte nesta fase.

Por sua vez, o ponto corresponde a um dia de trabalho a realizar por um par condutor/veículo. Contém o conjunto de rotas a realizar.

Um dia de trabalho possui um conjunto de pontos e a sua qualidade é avaliada pelo número de escalas e diferenças absolutas relativamente à média de quilómetros e horas de trabalho realizadas em cada ponto. Para uma descrição mais detalhada de todas as propriedades destas entidades, consultar o Anexo A, que apresenta um diagrama *Unified Modeling Language* (UML) que resume a informação em questão.

4.2.2 Relações entre entidades

Existem regras na empresa que obrigam a definir certo tipo de relações entre as diferentes entidades que intervêm na atividade de distribuição. No fundo definem o que é permitido pelo modelo, criando fronteiras e clarificando os casos possíveis no dia-a-dia da empresa. Abaixo apresentam-se as relações presentes no modelo de *job scheduling*, bem como o motivo pelo qual se opta pelas mesmas:

- Uma rota, num dia, só pode estar presente num ponto. De facto, uma rota possui uma identificação única, que leva a que não existam rotas diferentes com o mesmo nome nem rotas iguais com nomes diferentes;

- Um ponto não pode possuir rotas sobrepostas, ou seja, rotas cujos intervalos temporais em que se realizam se sobrepõem não podem ser contidas no mesmo ponto. Este fenómeno de sobreposição será doravante denominado de overlapping (ver Eliiyi, Ornek, and Karakütük (2009)) de agora em diante.

4.2.3 *Formulação matemática*

O modelo deve permitir a introdução de restrições provenientes de imposições legais e assegurar o cumprimento das relações entre as entidades que o constituem. A base deste modelo provém da apresentação efetuada por Bouzina and Emmons (1996), descrita anteriormente. Como se pode reparar, foram feitos ajustes de modo a incluir todas as restrições previstas pela empresa. No modelo, $DifH_{jd}$ e $DifKm_{jd}$ são as diferenças absolutas relativamente à média de horas de trabalho e quilómetros realizados em cada ponto j no dia d , respetivamente.

Índices

r Rota: $r \in [R]$

j Ponto: $j \in [M]$

a Almoço: $a \in [A]$

d Dia: $d \in [D]$

Parâmetros

R_d : Número de Rotas a realizar no dia d

M_d : Número de Pontos possíveis de realizar no dia d

T : Tempo de trabalho máximo em cada ponto

W : Tempo máximo decorrido entre a entrada e saída do condutor na empresa

r_r : Hora de inicio da Rota r

d_r : Hora de fim da Rota r

$p_r = (d_r - r_r)$: Duração da Rota r

k_r : Distância da Rota r

P_a : Conjunto de Rotas a realizar no período a

A : Conjunto de possibilidades de períodos de almoço

RA_d : Conjunto de rotas a realizar antes do almoço no dia d

RD_d : Conjunto de rotas a realizar depois do almoço no dia d

w_1 : Fator de ponderação das diferenças absolutas das horas de trabalho

w_2 : Fator de ponderação das diferenças absolutas dos quilómetros percorridos

w_3 : Fator de ponderação do número de pontos abertos

$M1, M2, M3$: Números grandes

z : Número de períodos onde as rotas se podem realizar

Variáveis de decisão

$$x_{rjd} = \begin{cases} 1, & \text{se a Rota } r \text{ for atribuída ao Ponto } j \text{ no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 4.1$$

$$y_{jd} = \begin{cases} 1, & \text{se o Ponto } j \text{ for utilizado no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 4.2$$

$$l_{ajd} = \begin{cases} 1, & \text{se o almoço } a \text{ for atribuído ao Ponto } j \text{ no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 4.3$$

$$b_{jd} = \begin{cases} 1, & \text{se o Ponto } j \text{ possui rotas da parte da tarde do dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 4.4$$

$$c_{jd} = \begin{cases} 1, & \text{se o Ponto } j \text{ possui rotas da parte da manhã do dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 4.5$$

Função Objetivo

$$f_{obj} = \min w_1 \sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^M DifH_{jd} + w_2 \sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^M DifKm_{jd} + w_3 \sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^M y_{jd} \quad 4.6$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^M x_{rjd} = 1, \quad r = 1, \dots, R \quad d = 1, \dots, D \quad 4.7$$

$$\sum_{r=1}^R x_{rjd} p_r \leq T, \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D \quad 4.8$$

$$\sum_{r \in P_a} x_{rjd} \leq 1, \quad j = 1, \dots, M \quad a = 1, 2, \dots, z-1 \quad d = 1, \dots, D \quad 4.9$$

$$\sum_{r=1}^{R_{jd}} (x_{r_{ajd}} d_r - x_{r_{bjd}} r_r) \leq W, \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D \quad \forall r_a \neq r_b \quad 4.10$$

$$\sum_{r=1}^R x_{rjd} \leq M1 y_{jd}, \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D \quad 4.11$$

$$\sum_{r \in RA_d} x_{rjd} \leq M2 b_{jd}, \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D \quad 4.12$$

$$\sum_{r \in RD_d} x_{rjd} \leq M3 c_{jd}, \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D \quad 4.13$$

$$\sum_{a=1}^A l_{ajd} = (b_{jd} + c_{jd} - 1) y_{jd}, \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D \quad 4.14$$

$$x_{rj}, y_{rj}, l_{rj}, b_{rj}, c_{rj} \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, M \quad r = 1, \dots, R \quad a = 1, \dots, A \quad 4.15$$

Analisando o modelo, a função objetivo (4.6) inclui uma ponderação dos três objetivos primários: o equilíbrio de horas, o equilíbrio de quilômetros e o número de pontos necessários. Os fatores de ponderação devem ser definidos pelo decisor para que possam espelhar a sua sensibilidade relativamente a cada um dos objetivos. A restrição (4.7) assegura que todas as rotas são realizadas. A expressão (4.8) impõe um limite máximo ao número de horas realizadas por cada ponto j . A restrição (4.9) assegura que não existe *overlapping* em nenhuma rota de cada ponto, sendo P_a o conjunto de rotas por realizar no período a . A expressão (4.10) assegura que um motorista dá entrada na empresa e sai passadas W horas, no máximo. A restrição (4.11) faz com que y_j , referente ao ponto j , assuma valor unitário sempre que este possua rotas, o que significa que foi aberto. Em (4.12) e (4.13) detetam-se quais os pontos que possuem rotas de manhã e de tarde, atribuindo-lhes, em (4.14), um almoço caso seja necessário. Em (4.15) assegura-se a integralidade nas alocações de cada rota e almoço a cada ponto.

Apesar de não se ter testado este modelo em nenhum *solver*, este descreve sumariamente a construção de pontos realizada manualmente até então e poderia ser utilizado para resolver pequenas instâncias. É também uma racionalização de parte da atividade de planeamento, definindo quais os principais objetivos nesta fase, sendo uma chamada de atenção para as principais preocupações a ter durante o planeamento. Assim, caso se efetue esta parte do planeamento manualmente, conhecem-se quais os valores a calcular e de que forma se podem comparar duas soluções, visto que antes não existia qualquer métrica para a construção de pontos isolada.

5 *Crew Assignment Problem*

5.1 *Introdução*

Após a criação dos pontos, é necessário resolver o problema de alocação de motoristas e veículos. Este desafio pode enquadrar-se nos problemas de *Crew Assignment*. É frequente encontrar literatura sobre este assunto, tratando do planeamento de tripulações em voos de companhias aéreas. Apesar de ser um dos problemas mais complexos, o planeamento da atividade de uma companhia aérea permite facilmente expor os conceitos que se aplicam a outras áreas. Repare-se que é possível efetuar uma analogia entre a alocação de pares condutor/veículo a pontos e a alocação de tripulações a voos.

Gopalakrishnan and Johnson (2005) apresentam várias metodologias de resolução das diversas fases do planeamento da atividade das companhias aéreas. O planeamento é dividido em cinco fases, sendo que duas se comparam às duas fases do escalonamento da atividade da empresa em estudo: *Flight Schedule* e *Fleet Assignment*. Na fase *Flight Schedule* é construído um horário contendo todos os voos a serem realizados e na fase *Fleet Assignment* decide-se quais os aviões que farão cada voo. O objetivo é realizar todos os voos com os veículos disponíveis, minimizando custos e respeitando as restrições da atividade.

Vance et al. (1997) descrevem o problema de *Airline Crew Scheduling* como um problema cuja solução deverá permitir atribuir tripulações aos voos de um determinado horário, respeitando as restrições impostas na atividade e minimizando o custo total. Apresenta-se um modelo para atribuir tripulações a dias de trabalho (*duty periods*) que são juntos em *pairings*, sempre que uma tripulação faz uma viagem passando a noite fora da sua base e regressando posteriormente. Esta formulação é um pouco diferente daquilo que se encontra normalmente, pois é baseada nos *duty periods* que são gerados previamente.

Caprara et al. (1997), numa abordagem ao planeamento dos transportes em caminhos-de-ferro, descrevem o termo *crew management* como sendo uma área que lida com a construção de horários de trabalho para cobrir um determinado planeamento. Afirmam que este é um problema bastante comum em investigação operacional e está historicamente associado a companhias de voo e empresas de transportes.

Ernst et al. (2004) apresentam questões interessantes em várias áreas, entre as quais se encontram os sistemas de transporte. O autor apresenta três tipos de *assignment*: *Task assignment*, *Shift assignment* e *Roster assignment*. Pelas definições enunciadas, o *Roster assignment* é o que mais se aproxima do problema de alocação dos pares condutor/veículos, envolvendo a alocação de linhas de trabalho a membros do *staff*. Este tipo de *assignment* pode ser realizado antes ou depois da construção das linhas de trabalho. No caso em estudo na Dismed a construção e alocação são realizadas separadamente.

Haase, Desaulniers, and Desrosiers (2001) documentam uma abordagem exata a um problema de *Vehicle and Crew Scheduling* em sistemas de transporte urbano onde os veículos são do mesmo tipo e pertencem ao mesmo depósito. Este autor cita uma crítica de Ball, Bodin, and Dial (1983) aos métodos de *assignment* sequencial de veículos e motoristas. De facto, por não se saber qual dos custos será maior, é errado assumir uma sequência. O autor decide então realizar uma abordagem simultânea, combinando os dois problemas, a que chama de *vehicle and crew scheduling problem* (VCSP).

Recentemente, Jian et al. (2011) propõem uma solução para o problema de *single depot transit vehicle assignment* (SDTVA) aplicando-o às rotas do *campus* de uma universidade. O esquema apresentado na Figura 10 resume grande parte dos problemas apresentados até então. As viagens são atribuídas a cada veículo. Na figura, b corresponde à partida de uma viagem, e corresponde à chegada de uma viagem, s corresponde ao início do turno e d corresponde ao fim do turno. Os veículos, sujeitos a determinadas restrições, devem regressar ao depósito no final das viagens. Repare-se que o esquema representa as diferentes possibilidades neste tipo de problema, como a saída e entrada de veículos no depósito, a espera pelo início de uma nova viagem e a atribuição de uma viagem a um veículo.

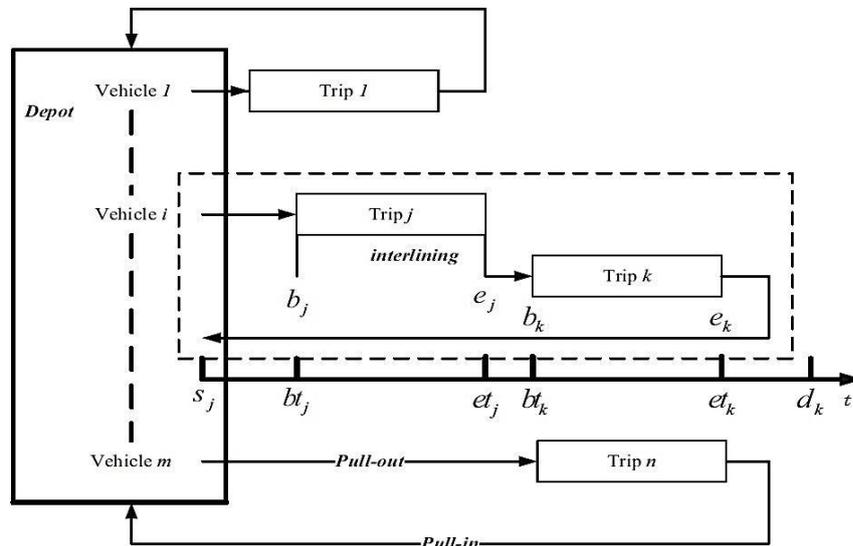


Figura 10 - Esquematização de um problema de *vehicle assignment*

Fonte: Jian et al. (2011)

Spivey and Powell (2004) propõem uma solução para um problema de *assignment* onde cada recurso serve apenas uma tarefa num determinado período. A formulação deste problema recorreu a processos de decisão de Markov, visto que as decisões são tomadas num determinado período t com vista a um resultado futuro. De forma básica, não é certo que os recursos e as tarefas estejam disponíveis no período t , sendo criadas variáveis para detetar se estes elementos estão disponíveis e variáveis para utilizar estes elementos. Esta é uma abordagem interessante, numa aplicação a um problema mais complexo, que trata de mais um caso dos problemas de *assignment*.

Barany et al. (2010) abordam um problema de minimização de custos e do impacto ambiental dos transportes. São fornecidos um conjunto de tarefas às quais se devem associar veículos e dados referentes a propriedades, como a emissão de CO₂ de cada veículo.

No modelo desenvolvido neste trabalho o objetivo é atribuir veículos aos pontos construídos na fase anterior, sendo que apenas se podem retirar alguns conceitos e linhas de pensamento dos artigos supracitados.

5.2 Modelo desenvolvido

Tendo em conta todos os objetivos e condicionantes, definiu-se um modelo matemático capaz de descrever o problema de *Crew Assignment* da Dismed. Será feita uma descrição das entidades que intervêm no modelo bem como uma descrição das relações entre elas. Finalmente apresentar-se-á a formulação matemática do modelo, extremamente útil para resumir todas as condicionantes da atividade.

5.2.1 Caracterização de entidades

A alocação de motoristas e veículos aos pontos lida principalmente com três entidades/objetos: condutores, veículos e pontos.

O condutor é a entidade responsável por realizar viagens. Cada condutor possui um custo fixo e uma zona, propriedades que o distinguem dos demais no que diz respeito à sua influência nos objetivos e custos a ter em conta no modelo.

O veículo é a entidade responsável por transportar os condutores e os tabuleiros. A influência nos objetivos e custos por parte deste objeto faz-se sentir devido ao seu custo fixo, consumo, custo de manutenção, capacidade de carga e máximo de quilómetros admitidos por semana.

Para uma descrição mais detalhada das entidades que são envolvidas neste modelo, consultar o Anexo B.

5.2.2 Relações entre entidades

Tal como no problema de *fixed job scheduling* apresentado anteriormente, é necessário descrever as relações entre as entidades a incluir neste modelo:

- Num determinado período do dia, um veículo só pode estar a ser utilizado por um único condutor;
- Idealmente, um condutor só poderá conduzir um veículo ao longo da semana, sendo que este deverá ter uma matrícula atribuída. Esta restrição surge do facto de não ser prático estar constantemente a trocar de veículo, visto que os condutores levam os veículos para casa;
- Quando cada condutor está alocado a um único veículo é bastante mais fácil saber quem provocou danos e existe um sentimento de posse bastante maior. É, no entanto possível que em casos excecionais um condutor conduza veículos diferentes em períodos diferentes;
- Num mesmo dia, um veículo pode ser conduzido por mais do que um condutor;
- Uma rota, num dia, é realizada por um único par condutor/veículo;
- Um ponto, num dia, só pode ter associado um par condutor/veículo;
- Um veículo pode ser conduzido por qualquer condutor visto que na empresa todos os motoristas estão habilitados a conduzir veículos de classe não superior a dois (os únicos existentes na empresa);
- Um veículo só pode ser alocado a pontos em que a volumetria prevista de cada rota seja inferior à sua capacidade volumétrica.

5.2.3 Formulação matemática

Este modelo tem como objetivo atribuir um par condutor/veículo a cada ponto a realizar num dia da semana. Neste problema é possível calcular todos os indicadores. A função objetivo inclui parcelas relacionadas com o custo, ocupação dos veículos, penalizações de

zona e penalizações de quilómetros em excesso. As diferenças de horas e quilómetros foram deixadas de parte visto não ser possível, nesta fase, haver melhorias para estes objetivos.

Índices

z Condutor: $z \in [C]$

k Veículo: $k \in [V]$

j Ponto: $j \in [M]$

d Dia: $d \in [D]$

Parâmetros

M : Número de pontos a realizar

C : Número de condutores disponíveis

V : Número de veículos disponíveis

DT : Número máximo de dias de trabalho a realizar por cada condutor

Cfc_z : Custo fixo do condutor z

Cfv_v : Custo fixo do veículo v

Cv_v : Consumo por quilómetro do veículo v incluindo consumo e manutenção

$g1$: Função para cálculo de horas extra dos condutores

$g2$: Função de chaves primárias dos pares condutor/veículo

H_j : Conjunto de rotas a realizar no ponto j

$MaxKm_v$: Máximo de quilómetros permitidos pelo veículo v na semana

Vol_v : Volumetria do veículo v

$VolPrev_{jd}$: Volumetria necessária para efetuar o ponto j no dia d

$KmPerc_{jd}$: Quilómetros a percorrer no ponto j no dia d

Mat_{zr} : Penalização do condutor z quando realiza a rota r

$M1, M2$: Números grandes

w_1 : Fator de ponderação do custo

w_2 : Fator de ponderação das penalizações de zona

w_3 : Fator de ponderação da média da ocupação dos veículos

w_4 : Fator de ponderação das penalizações por quilómetros em excesso

Variáveis de decisão

$$y_{zjd} = \begin{cases} 1, & \text{se o Condutor } z \text{ realiza o Ponto } j \text{ no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 5.1$$

$$v_{vjd} = \begin{cases} 1, & \text{se o Veículo } v \text{ é utilizado no Ponto } j \text{ no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 5.2$$

$$u_z = \begin{cases} 1, & \text{se o Condutor } z \text{ é utilizado} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 5.3$$

$$o_v = \begin{cases} 1, & \text{se o Veículo } v \text{ é utilizado} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 5.4$$

Função Objetivo

$$\begin{aligned} f_{obj} = \min & w_1 \sum_d^D \sum_j^M \sum_v^V v_{vjd} C v_v KmPerc_{jd} + w_1 \sum_d^D \sum_j^M \sum_z^C y_{zjd} g_1(z, j, d) \\ & + w_1 \sum_v^V o_v C f v_v + w_1 \sum_z^C u_z C f c_z + w_2 \sum_d^D \sum_j^M \sum_z^C \sum_{r \in H_j}^R y_{zjd} Mat_{zr} \\ & - w_3 \sum_d^D \sum_j^M \sum_v^V \sum_{r \in H_j}^R \frac{v_{vjd} VolPrev_{jd}}{Vol_v R_j M_D D} \\ & + w_4 \sum_d^D \sum_j^M \sum_v^V v_{vjd} \max(0; KmPerc_{jd} - MaxKm_{vd}) \end{aligned} \quad 5.5$$

Sujeito a

$$\sum_{z=1}^C y_{zjd} = 1, \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D \quad 5.6$$

$$\sum_{v=1}^V v_{vjd} = 1, \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D \quad 5.7$$

$$\sum_{v=1}^V v_{vjd} VolPrev_j \leq Vol_v, \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D \quad 5.8$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^M y_{zjd} \leq DT, \quad z = 1, \dots, C \quad 5.9$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^M y_{zjd} \leq M1 u_z, \quad z = 1, \dots, C \quad 5.10$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^M v_{vjd} \leq M2 o_v, \quad v = 1, \dots, V \quad 5.11$$

$$\sum_{z=1}^C \sum_{v=1}^V y_{zjd} v_{vjd} g_2(z, v) = \sum_{z=1}^C \sum_{v=1}^V y_{zjd+1} v_{vjd+1} g_2(z, v), \quad j = 1, \dots, M \quad d = 1, \dots, D - 1 \quad 5.12$$

$$y_{zjd}, v_{vjd}, u_z, o_v \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, M \quad v = 1, \dots, V \quad z = 1, \dots, C \quad d = 1, \dots, D \quad 5.13$$

A função objetivo (5.5) inclui termos relativos a quatro dos objetivos definidos pela empresa, os que foram deixados de fora na primeira fase do planeamento. Afetos ao fator de ponderação w_l estão os custos variáveis e fixos dos veículos e condutores. Note-se que os

custos só são contabilizados no caso de as variáveis de decisão binárias assumirem valor positivo. O fator de ponderação w_2 ajusta o valor das penalizações de zona obtidas pela matriz Mat_{zr} que contém o valor das penalizações da associação do condutor z à rota r . O fator w_3 refere-se ao ajuste do valor da ocupação dos veículos na função objetivo. O último fator, w_4 , pondera a importância das penalizações por excesso de quilómetros efetuados por cada veículo.

As restrições (5.6) e (5.7) asseguram que é atribuído um e um único par condutor/veículo a cada ponto j . A expressão (5.8) certifica o cumprimento das restrições de capacidade de cada veículo v . A restrição (5.9) assegura que os condutores apenas trabalham um determinado número de dias na semana. As expressões (5.10) e (5.11) detetam a utilização de um condutor ou um veículo, respetivamente, para que seja possível imputar custos fixos na função objetivo. A restrição (5.12) assegura que um condutor conduz sempre o mesmo veículo ao longo do horizonte de planeamento de D dias fazendo uso de da função g_2 que fornece uma chave de identificação de cada par.

Também não se testou este modelo, no entanto seria possível resolver instâncias de pequena dimensão. De novo, com este modelo a empresa sabe quais as principais variáveis em causa neste ponto do planeamento. Repare-se que se clarificaram todos os aspetos do problema, sendo agora mais fácil tomar uma posição crítica.

6 Aplicação do GRASP

6.1 Introdução

Como se pode concluir pelo que foi apresentado nas secções anteriores, o ideal seria poder agregar os dois modelos. Apesar de não se ter testado os modelos matemáticos, foram bastante importantes para apresentar e perceber todas as restrições dos dois problemas da empresa. Repare-se que o tratamento separado dos dois problemas torna impossível a contemplação dos seis objetivos propostos pela empresa relativamente ao planeamento (como se pode reparar nas expressões (4.6) e (5.5) presentes nos capítulos anteriores. Desta forma, de acordo com o método utilizado pela empresa, há uma hierarquia entre os dois problemas (Figura 11). Primeiro, resolve-se o problema de criação pontos e só depois se podem atribuir os pares condutor/veículo.

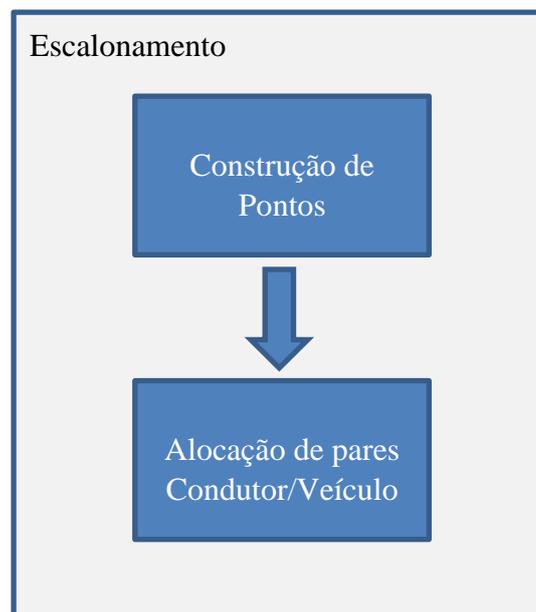


Figura 11 - Hierarquia de atividades no Escalonamento

No primeiro problema apenas se pode ambicionar criar dias equilibrados no que diz respeito ao número de horas e quilómetros de cada ponto. Poderia haver uma preocupação em construir pontos com rotas da mesma zona e com volumetrias previstas semelhantes, mas não há garantias de que esta será a melhor forma de proceder na globalidade do problema.

Na alocação dos pares condutor/veículo, já é possível calcular os seis indicadores fixados anteriormente, apesar de não ser possível influenciar dois deles. Nesta fase, a preocupação tem sido a de criar uma solução admissível não descartando a possibilidade de voltar atrás e

efetuar pequenas alterações nos pontos definidos anteriormente. De facto, os planeadores separam estes dois problemas pela complexidade exigida quando tratados globalmente.

São notórias as vantagens de uma abordagem conjunta aos dois problemas. Apesar de ser humanamente impossível, as meta-heurísticas permitem atacar estes problemas, simultaneamente, com relativa facilidade. Recorreu-se à modelação de problemas de otimização combinatória, aplicando, posteriormente, uma meta-heurística, designadamente *Greedy Randomized Adaptative Search Procedure* (GRASP).

O GRASP é uma meta-heurística *multi-start* para problemas combinatórios em que cada iteração consiste em duas fases: construção (*construction*) e pesquisa local (*local search*). A fase de construção constrói uma solução possível, cuja vizinhança é investigada até se encontrar um mínimo local na fase de pesquisa local. O processo repete-se várias vezes memorizando a melhor solução global (Feo and Resende 1995). Na Figura 12 pode observar-se o aspeto geral da evolução da função objetivo num GRASP. Cada fase descendente corresponde a um *local search* e cada pico corresponde a uma nova iteração onde se constrói uma nova solução inicial. Sempre que se atinge um valor de função objetivo mais baixo do que a solução encontrada até ao momento, memoriza-se a solução. No Anexo H, apresenta-se o pseudo-código da meta-heurística implementada (Figura 34).

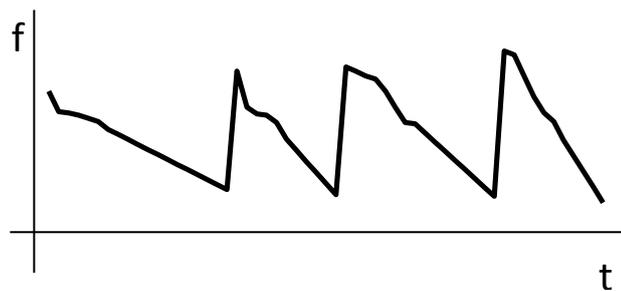


Figura 12 - Comportamento da função objetivo na meta-heurística GRASP

Esta meta-heurística deve ser vista como uma técnica de amostragem repetitiva. Em cada iteração é produzida uma solução cuja média e variância das suas propriedades são funções da natureza de uma lista restrita de candidatos denominada *restricted candidate list* (RCL). A título de exemplo, imaginando a construção de um ponto, pode definir-se um critério de atribuição de rotas a pontos que selecione primeiro as rotas mais curtas, sendo que as rotas candidatas serão incluídas na RCL. Esta lista pode ser construída com o auxílio de um parâmetro $\alpha \in [0,1]$, seleccionando os seus elementos sempre que o custo incremental de inserção c (neste caso, a duração das rotas) pertencer ao intervalo $[c^{min}, c^{min} + \alpha(c^{max} - c^{min})]$. Em cada inserção, cria-se uma lista deste tipo, seleccionando aleatoriamente um dos seus elementos. Exemplificando, de acordo com a lista de candidatos da Figura 13, para $\alpha=0.3$, apenas os três primeiros elementos poderiam ser inseridos no momento pois são os únicos que pertencem ao intervalo.

$c \in [00:45, 00:45 + 0.3(02:30 - 00:45)]$							
$c \in [00:45, 01:16]$							
			Excluídos				
00:45h	01:00h	01:15h	01:30h	01:30h	01:45h	02:00h	02:30h

Figura 13 - Exemplo de lista restrita de candidatos

O parâmetro α pode ser visto como uma medida da ganância do algoritmo de construção. Para $\alpha = 0$ o algoritmo é totalmente ganancioso, enquanto que para $\alpha = 1$, o algoritmo efetua inserções completamente aleatórias (num problema de minimização). Num GRASP puro, é normalmente nesta fase de construção que se introduz um carácter estocástico no algoritmo (Gendreau and Potvin 2010, pág. 301). Na fase de pesquisa local podem utilizar-se vizinhanças simples, seguindo uma estratégia, por exemplo, de *best-improving* ou *first-improving* para a aceitação de vizinhos. Não existe uma regra para as fases de construção e de pesquisa local, devendo adaptar-se cada um destes métodos na modelação de cada problema.

Sendo uma meta-heurística, pode ser aplicada sensivelmente a todo o tipo de problemas. Argüello, Bard, and Yu (1997) implementaram um GRASP para reconstruir as rotas de um aeroporto em resposta a imprevistos. Sempre que um horário deixa de ser válido, o objetivo é encontrar uma nova solução que minimize os custos dos atrasos e cancelamentos de voos. Gera-se a vizinhança de uma solução inicial guardando os melhores vizinhos numa lista de soluções iniciais candidatas selecionando uma destes, aleatoriamente. Posteriormente, na fase de pesquisa local, efetuam-se melhorias até se encontrar um mínimo local. Neste caso o tempo é um fator preponderante.

Existem várias versões do GRASP. Um exemplo disso é a versão paralelizada desenvolvida por Aiex, Binato, and Resende (2003) onde se aplica a meta-heurística a um *job shop scheduling problem* (JSP). Num JSP um conjunto finito de trabalhos é processado num conjunto finito de máquinas. O objetivo é minimizar o tempo total de processamento. Foram testadas inúmeras instâncias, com bons resultados. Repare-se que o autor compara o GRASP puro com um algoritmo que inclui também uma abordagem (*path relinking*) que permite explorar trajetórias que conectam uma solução inicial com uma solução guia, tendo a última obtido bons resultados em períodos de tempo mais curtos.

Outro tipo de problemas aos quais se aplicaram meta-heurísticas deste tipo são os *container-loading problems* (CLP). Moura and Oliveira (2005) apresentam um problema com um contentor, onde se pretende colocar objetos maximizando o volume ocupado. O algoritmo obteve melhores resultados do que outros presentes na literatura por ter sido modelado de forma ligeiramente diferente.

6.2 Representação da solução

A representação da solução passou por aproveitar parte do trabalho já realizado na empresa, adicionando alguns elementos de especial utilidade para os decisores. Decidiu-se manter parte da representação descrita anteriormente baseada em diagramas de Gantt, sendo que uma solução continuará a possuir um horário correspondente a cada dia da semana, que permitirá informar os motoristas das tarefas que irão realizar. Cada dia da semana possui informações relevantes como o número de quilómetros percorrido por cada veículo, horas efetuadas por cada condutor e ocupação média dos veículos de cada ponto. Existe também uma folha apenas com informações relativas aos motoristas, indicando o número de horas efetuadas por cada um, em cada dia, e o número de quilómetros realizados pelo veículo que lhes foi associado, na semana. Fornece-se também informações respeitantes às células, calculando os custos associados a uma rotação de todos os motoristas por célula. É de facto complicado encontrar uma base para o cálculo destes custos visto que nem todas as células possuem o mesmo número de motoristas.

Por último, é calculada uma folha de totais onde se podem consultar os indicadores do estado de cada objetivo para o horário calculado. No Anexo D pode consultar-se a representação de uma solução para o problema da empresa, contendo todos os elementos referidos no parágrafo anterior.

O Anexo C contém um diagrama UML incluindo as propriedades de todas as entidades incluídas no modelo implementado em VBA, que não é mais do que uma junção dos dois problemas apresentados anteriormente.

6.3 Função Objetivo

A função objetivo, na expressão (6.1), é uma agregação dos seis objetivos definidos com a empresa (apresentados na subsecção 3.4.3). É uma função que inclui um fator de ponderação w_o para cada objetivo o . Estes fatores devem ser definidos pelo decisor consoante o peso que este quiser atribuir a cada objetivo. Este método, denominado *weighted sum*, é um dos mais utilizados na otimização destes casos, permitindo otimizar um problema multiobjectivo, convertendo-o num objetivo único através de pesos.

$$f_{obj} = \min w_1 \text{Custo} + w_2 \text{DifH} + w_3 \text{DifKm} + w_4 \text{PenZona} + w_5 \text{PenKm} - w_6 \text{MédiaOcupação} \quad 6.1$$

$$w_o = \mu_o \theta_o, \quad o = 1, \dots, I \quad 6.2$$

$$\mu_o = \frac{\text{Peso}_o}{\sum_{i=1}^I \text{Peso}_i}, \quad o = 1, \dots, I \quad 6.3$$

$$\theta_o = \frac{1}{\text{Max}_o - \text{Min}_o}, \quad o = 1, \dots, I \quad 6.4$$

Repare-se que os termos presentes na expressão (6.1) apresentam magnitudes diferentes pelo que se deve proceder a uma normalização dos fatores de ponderação, utilizando a expressão (6.4). Grodzevich and Romanko (2006) sugerem várias formas de normalizar funções multiobjectivo, sendo que este modelo é baseado nas suas considerações. A expressão (6.2) representa o cálculo dos fatores de ponderação, onde μ_o são os pesos introduzidos pelo decisor e θ_o são fatores de normalização. O método de normalização utilizado é ligeiramente diferente ao apresentado pelo autor pois tem em conta o histórico dos resultados obtidos para cada objetivo, sendo θ_o obtido pela expressão (6.4). A obtenção de θ_o é conseguida utilizando os valores mínimo e máximo conhecidos até ao momento. Segundo o autor, este método oferece os melhores resultados visto que se normaliza cada objetivo utilizando os seus intervalos de variação reais. Depois de normalizadas, as funções de cada objetivo estarão contidas entre zero e um (de acordo com a expressão 6.5), o que resulta numa magnitude semelhante em todos os objetivos.

$$0 \leq \frac{f_o(x) - \text{Min}_o}{\text{Max}_o - \text{Min}_o} \leq 1 \quad 6.5$$

Gennert, Yuille, and Science (1988) e Kim and de Weck (2004) sugerem ainda outras formas de se tratar funções multiobjectivo.

No sentido de possibilitar o funcionamento de todas as capacidades da ferramenta, deve ser fornecida uma matriz de penalizações de zona. O objetivo desta matriz é permitir atribuir

uma penalização sempre que um motorista realiza uma rota que não pertence à sua zona. Penaliza-se um motorista sempre que este termine o serviço fora da sua zona pois irá percorrer um maior número de quilómetros em vazio, visto que os motoristas levam os veículos para casa sempre que terminam um serviço antes da hora de almoço ou no final do dia. Pretende-se também criar pontos cujas rotas pertençam a zonas próximas umas das outras, numa tentativa de especializar os motoristas em determinados locais, o que conduziria a uma redução considerável dos tempos de execução de cada rota.

Decidiu-se definir a localização de uma rota pela média das coordenadas de cada farmácia, visto que não se tem conhecimento da última farmácia a realizar pedidos, e a localização dos motoristas pelo seu destino de almoço. O decisor deve definir o número de zonas que pretende criar, fornecendo as coordenadas dos centros de cada zona. As rotas e os motoristas são atribuídos ao centro de zona que lhes for mais próximo de acordo com o exemplo da Figura 14.

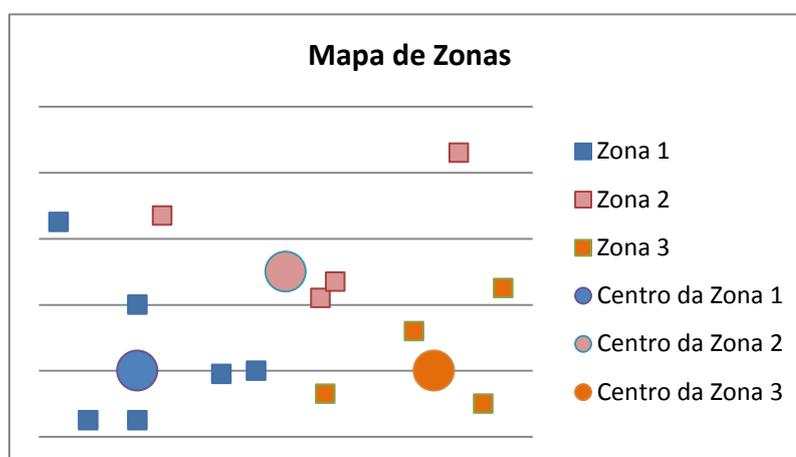


Figura 14- Exemplo de mapa de zonas para penalização

Criou-se um módulo VBA que fornece um mapa com a indicação das rotas e motoristas que pertencem a cada zona bem como a matriz de penalizações necessária para correr o algoritmo. A Tabela 3 representa um exemplo de uma matriz de penalizações com quatro zonas. A matriz será sempre simétrica visto ser completamente desnecessário um nível de pormenor tão elevado para o efeito pretendido.

Tabela 3 - Exemplo de matriz de penalizações

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Zona 1	0	X1	X2	X3
Zona 2	X1	0	X4	X5
Zona 3	X2	X4	0	X6
Zona 4	X3	X5	X6	0

A inclusão destas considerações na função objetivo permitiram adicionar algo mais do que uma simples análise de custo, bastante vulgar na literatura, particularizando ao máximo a solução do problema em estudo.

6.4 Solução Inicial - Greedy Randomized Construction

A primeira etapa da meta-heurística implementada corresponde à construção de uma solução inicial que permita iniciar a heurística de melhoria do algoritmo a partir de várias soluções diferentes. Na versão implementada, é nesta etapa que se adiciona uma componente

estocástica às soluções calculadas pelo algoritmo possibilitando que a procura de soluções escape de mínimos locais.

6.4.1 Fase 1 - Initial Route Scheduling

Na primeira fase da construção da solução inicial começa-se por atribuir rotas a pontos, utilizando um método de construção guloso, relacionado com a hora de início das rotas. O parâmetro Alfa permite definir o grau de aleatoriedade da hora de início da rota a ser inserida em cada momento. Ao escolher o valor de zero para este parâmetro, o algoritmo insere em primeiro lugar as rotas que começam mais cedo, levando à construção de horários bastante compactos, num comportamento semelhante à *trip-based heuristic* apresentada por Eliiyi, Ornek, and Karakütük (2009, pág. 155). Dado o facto de se estar perante um problema de otimização multiobjectivo seria bastante complicado encontrar um critério que tivesse em conta todos os objetivos, tendo-se optado por não adicionar complexidade neste ponto. Note-se que nesta fase o horizonte de planeamento considerado é de uma semana, sendo que esta rotina para adicionar rotas a escalas deve ser repetida para todos os dias. Quando, em cada dia, todas as rotas estão atribuídas a um ponto o algoritmo de construção está pronto para passar à segunda fase.

Nesta primeira fase não é permitida a violação de nenhuma *hard constraint*, ou seja, todas as restrições físicas e impostas pela legislação relativamente às horas de trabalho são cumpridas, visto que no final da fase de construção deve obter-se uma solução admissível.

6.4.2 Fase 2- Initial Crew Assignment

Na segunda fase do algoritmo de construção proceder-se-á à alocação de motoristas e veículos aos pontos a realizar em cada dia. Visto que todos os motoristas podem conduzir todos os veículos, não se utiliza qualquer critério para definir o par condutor/veículo. No entanto, a partir do momento em que um condutor utiliza um veículo, fica afeto a esse veículo durante o resto da semana, sempre que os seus serviços sejam solicitados.

Cada par condutor/veículo é admitido por um ponto se não violar as restrições de capacidade do veículo e de dias de trabalho do condutor, caso contrário o algoritmo aloca outro par cujo veículo permita a realização das rotas do ponto em questão e o condutor ainda possua dias disponíveis para trabalhar na semana.

Note-se que existe a possibilidade de não haver uma solução admissível para o número e tipo de condutores e veículos introduzidos. Neste caso, o algoritmo de construção toma a liberdade de criar condutores e veículos fictícios, de modo a poder continuar o processo. São introduzidos custos maiores para cada variável de forma a alertar o algoritmo de que esta situação é indesejável.

A fase de *Initial Crew Assignment* termina quando todos os pontos possuírem um veículo e um condutor.

6.5 Local Search

Construída a solução inicial, é necessário implementar heurísticas de melhoria que permitam aperfeiçoar uma dada combinação de pontos, condutores e veículos. Estas heurísticas irão pesquisar a vizinhança de uma solução que lhes é fornecida. No modelo descritivo do problema em questão, existem vários tipos de movimentos possíveis, sendo que se implementaram os mais simples. Mais uma vez, pelo facto de se tratar de um problema

multiobjectivo, não seria prático desenvolver algo muito complexo, até porque mais tarde pode ser interessante adicionar novos objetivos ao planeamento, o que levaria a empresa a alterar grande parte do algoritmo.

A pesquisa local permite então alterar iterativamente a solução, de uma forma descendente, em direção a um mínimo local ou, por ventura, a um mínimo global (pode haver mais do que um). Pelo facto de ser humanamente impossível explorar todas as soluções possíveis, é necessário selecionar estruturas de vizinhança, analisando vários vizinhos e selecionando os melhores. Esta é uma forma de delimitar o espaço de soluções.

A implementação deu origem a duas fases para a pesquisa local, uma dirigida ao problema de *Job Scheduling* (Fase 1) e a outra orientada para o problema de *Assignment* de condutores e veículos (Fase 2). Em cada fase são exploradas vizinhanças construídas a partir da aplicação de dois movimentos, sendo que apenas se abandona uma fase no caso de já não ser possível encontrar melhorias. A Tabela 4 resume a influência de cada movimento nas diferentes dimensões da solução, servindo de justificação para a decisão de os implementar.

Tabela 4 - Efeitos dos movimentos implementados na solução

Efeito	<i>Swap Rotas</i>	<i>Insert Rotas</i>	<i>Swap Par</i>	<i>Exchange Par</i>
Altera Custo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Altera Diferenças de Horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Altera Diferenças de Quilómetros	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Altera Penalizações de Zona	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Altera Penalizações de Quilómetros	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Altera Ocupação Média	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Modifica número de rotas de um Ponto		<input checked="" type="checkbox"/>		
Modifica número de Pontos		<input checked="" type="checkbox"/>		
Modifica número e tipo de veículos ou condutores utilizados na semana				<input checked="" type="checkbox"/>

De seguida, serão descritas as vizinhanças analisadas e as heurísticas de melhoria implementadas.

6.5.1 Fase 1 – *Route Scheduling Search*

6.5.1.1 *Insert Rotas*

No sentido de se introduzir variações no número de rotas de cada ponto é necessário retirar uma rota de um ponto e inseri-la noutra. É precisamente desta forma que se constrói a vizinhança analisada nesta fase da pesquisa local.

Esta vizinhança permite a eliminação de pontos, representando um enorme ganho em termos de custos fixos, visto que cada ponto necessita de um par condutor/veículo. Permite também grandes variações nos restantes objetivos.

A aceitação de um vizinho é realizada sempre que se encontra uma melhoria. Fisicamente, cada movimento é concretizado de acordo com o exemplo da

Figura 15, onde a “Rota 3” é retirada do “Ponto 1” para ser inserida no “Ponto 2”.

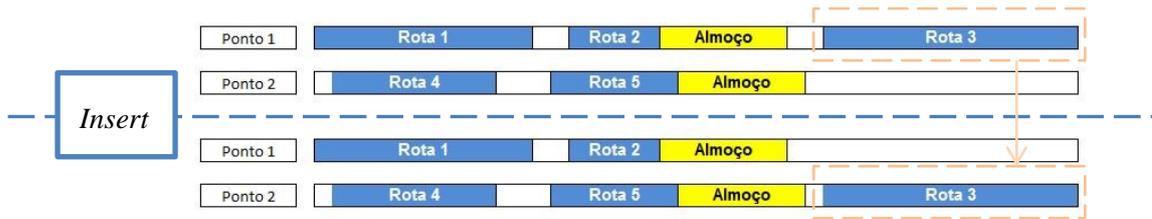


Figura 15 - Exemplo do movimento *Insert* Rota

6.5.1.2 Swap Rotas

Não raras vezes, não é possível efetuar as inserções referidas com a estrutura de vizinhança descrita anteriormente. Daí que se tenha definido uma outra vizinhança que permite libertar algum espaço nos pontos, possibilitando trocas de rotas entre dois pontos. Esta perturbação pode não significar grandes diferenças em termos de horas e quilómetros a efetuar em cada ponto, no entanto possibilita ajustes nas penalizações de zona, nos quilómetros realizados em excesso e na média de ocupação dos veículos.

A Figura 16 representa um movimento *Swap* entre a “Rota 1” do “Ponto 1” e a “Rota 4” do “Ponto 2”.

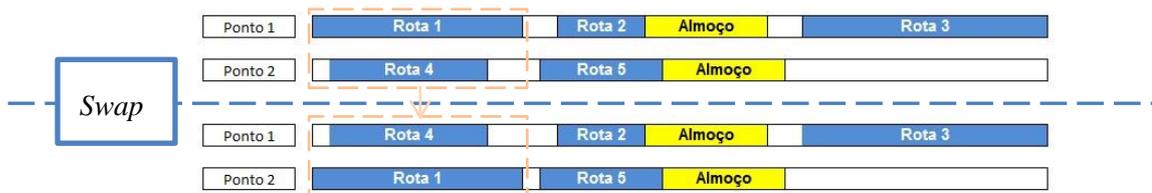


Figura 16 - Exemplo de movimento *Swap* Rotas

6.5.2 Fase 2 – Crew Assignment Search

6.5.2.1 Swap Par Condutor/Veículo

A avaliação da função objetivo é influenciada pelos pares condutor/veículo que se alocam a cada ponto. Deste modo, é perfeitamente vantajoso explorar vizinhanças que permitam alterar os recursos utilizados para efetuar um determinado ponto.

A estrutura de vizinhança “*Swap* Condutor/Veículo” possibilita trocar os pares condutor/veículo de dois pontos, colocando os condutores a conduzir mais rotas dentro da sua zona, aumentando a ocupação dos veículos e diminuindo os custos das viagens ao alocar os veículos de menor consumo a pontos onde se efetuam mais quilómetros. Os quilómetros em excesso podem também diminuir com um movimento deste tipo. Pode apontar-se aqui uma desvantagem por não ser possível a troca das duas entidades em separado. No entanto, optou-se por não se implementar esse movimento visto que apenas seriam encontradas melhorias nas penalizações de zona.

A Figura 17 exemplifica um movimento *Swap* Condutor/Veículo.

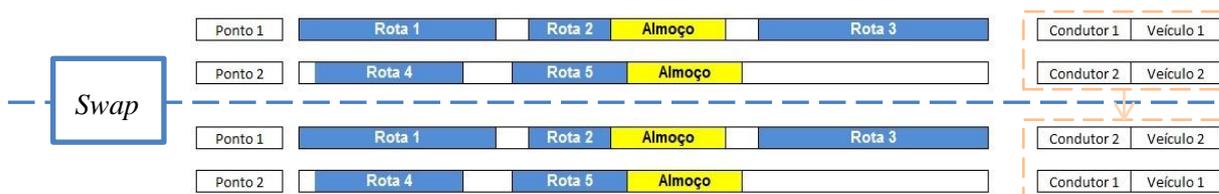


Figura 17 - Exemplo de movimento *Swap* Condutor/Veículo

6.5.2.2 Exchange Condutores e Veículos

Imagine-se que até um determinado momento do processo de otimização o algoritmo encontrou soluções em que não foi necessário utilizar todos recursos disponíveis. Neste caso é possível haver condutores e veículos não utilizados que ofereçam melhores soluções. Nesta fase da pesquisa local é possível introduzir condutores e veículos na solução que ainda não estão a ser utilizados, o que se pode revelar vantajoso visto que até aqui ainda não se tinha utilizado qualquer critério para definir o conjunto de condutores e veículos que devem ser incluídos na solução. Este movimento confere ao algoritmo a capacidade de responder a um maior número de questões “*What if*”, permitindo, por exemplo, adicionar veículos de outros tipos e chegar à conclusão de que não são necessários veículos tão dispendiosos para realizar um determinado plano.

É também possível encontrar casos em que, num determinado dia seja vantajoso proceder a uma troca de condutores ou veículos que já se encontrem a ser utilizados noutros dias da semana.

6.6 Acertos Finais

A solução final deverá incluir formas de permitir que certos hábitos culturais da empresa se continuem a realizar. Tal como se referiu anteriormente, os condutores estão autorizados a levar os veículos para casa sempre que terminam o serviço. No entanto, a empresa costuma dar uma margem de segurança, obrigando um certo número de condutores a permanecer na empresa caso existam imprevistos. Um dos parâmetros do algoritmo permite definir quantos motoristas devem regressar à empresa, sendo que a seleção de quem deve regressar é feita tendo em conta a distância entre o armazém e o local onde o serviço termina. Desta forma, os condutores que terminam os serviços e se encontram mais perto do armazém, serão selecionados para voltar à empresa. Decidiu-se efetuar esta seleção apenas no final do processo de otimização visto que o motorista regressar ou não à empresa no final de cada rota altera a sua duração e distância. Considerou-se que o aumento de complexidade do modelo devido a esta funcionalidade, não justificaria os ganhos que daí decorreriam, deixando-a de parte na fase de otimização.

A possibilidade de partilha de viaturas também não foi abordada. Apesar de não ser muito comum haver disponibilidade temporal, pode acontecer que dois condutores utilizem o mesmo veículo no mesmo dia. Sempre que for possível proceder a esta medida, o modelo deverá atribuir um veículo aos dois motoristas. Estes acertos são realizados apenas no final de que cada corrida do algoritmo, sobre a melhor solução encontrada, no final do GRASP.

7 Análise de resultados

7.1 Características do algoritmo

No sentido de se aferir a eficácia do algoritmo desenvolvido, analisaram-se as fases onde é suposto haver melhorias. Pretende-se apurar quais os movimentos que são efetuados e a quantidade de melhorias que encontram, bem como a robustez e capacidade de convergência para boas soluções. O estudo incidiu sobre uma instância, que será utilizada ao longo desta secção e apresentada em detalhe mais à frente. Utilizaram-se os pesos apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Pesos utilizados na função objetivo da amostra testada

Custo total	Dif. Horas	Dif.Km	Pen. Zona	Pen. Km	Ocupação
100 %	10 %	10 %	20 %	5 %	5 %

Obteve-se uma amostra de vinte soluções de cinco iterações (aproximadamente uma hora e meia por solução num processador Intel® Core™2 Duo E4600 @ 2.40 GHz) para Alfa igual a zero. A Tabela 6 contém os valores médios para o número de melhorias por cada 100 movimentos de cada tipo de movimento implementado no algoritmo. Os movimentos são aplicados pela ordem representada na tabela (da esquerda para a direita), sendo que no decurso do algoritmo, é cada vez mais difícil encontrar melhorias. Quer isto dizer que não se deve penalizar os movimentos “*Swap Pares*” e “*Exchange*” por apresentarem piores resultados. Estes últimos são movimentos cuja principal função não é encontrar muitas melhorias mas sim permitir sair de mínimos locais pela sua propriedade de alterar significativamente a estrutura da solução (ver Tabela 4).

Tabela 6 - Melhorias por movimento para cada tipo de movimento

<i>Insert Rotas</i>	<i>Swap Rotas</i>	<i>Swap Pares</i>	<i>Exchange</i>
3.2	3.8	2.6	1.2

Com o objetivo de avaliar a robustez do algoritmo, por forma a verificar a percentagem de corridas em que converge para valores aceitáveis, calculou-se o desvio padrão dos valores obtidos em cada objetivo (ver Tabela 7). É normal que exista uma variação maior nos objetivos cujo peso é mais baixo, uma vez que a sua influência no resultado global é menor (não afetam tanto a aceitação da solução). Neste caso, o objetivo cujo peso é maior na função objetivo é o custo, tendo este obtido os melhores resultados para a robustez. Os objetivos “DifH” e “DifKm” obtiveram os piores resultados nesta instância com os pesos testados.

Tabela 7 - Desvio padrão e coeficiente de variação por objetivo

	Custo total (€)	Dif. Horas (min)	Dif.Km (Km)	Pen. Zona (Km)	Pen. Km (Km)	Ocupação
Min	16252.65	4533.95	4326.37	13659.00	1658.00	0.45
Max	16288.42	5628.95	6666.28	15225.00	2658.00	0.46
Desvio Padrão (σ)	9.50	320.85	605.17	346.98	283.32	≈ 0.00
$C.V. = \sigma/\bar{x}$	0.06 %	6.54 %	10.97 %	2.49 %	13.71 %	0.63 %

7.2 Recomendação de parâmetros

No sentido de efetuar um parecer sobre quais os parâmetros do algoritmo recomendados, realizaram-se testes estatísticos relativamente à média da qualidade das soluções obtidas com diferentes valores de Alfa, na instância referida anteriormente. Estes testes não incidem sobre o valor da função objetivo agregada visto que esta é ajustada por alterações no histórico. Apesar de ser o valor que melhor reflete o resultado conjunto dos objetivos considerados no planeamento, não é um valor comparável nestas condições. Assim, decidiu-se testar os objetivos separadamente. Para cada valor de Alfa, as amostras são compostas por vinte observações de cinco iterações.

Pretende-se verificar se existem diferenças significativas nas médias dos resultados obtidos para cada Alfa. Para tal recorreu-se a um teste ANOVA simples em conjunto com o teste de Tuckey (testes realizados no *software Minitab 16*). Testaram-se dois valores extremos para Alfa, 0 e 1, e um valor muito citado na literatura relacionada com GRASP: 0.2. A Tabela 8 permite analisar o desempenho médio de cada valor do parâmetro alfa identificando a existência de diferenças significativas relativamente aos outros valores utilizados.

Tabela 8 - Resultados do teste Anova One-Way

	Alfa	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Grupos Tuckey	p-value
Custo Total	0	20	16267	9	16253	A	0.00
	0.2	20	16435	222	16255	A	0.00
	1	20	16903	581	16265	B	0.00
Dif.Horas	0	20	4892	326	4429	A	0.10
	0.2	20	5028	401	4253	A	0.10
	1	20	5267	789	4343	A	0.10
Dif.Km	0	20	5563	616	4326	A	0.02
	0.2	20	5140	451	4572	B	0.02
	1	20	5118	502	4002	B	0.02
Pen.Zona	0	20	13936	352	13597	A	0.01
	0.2	20	14443	400	13613	AB	0.01
	1	20	15120	1932	13854	B	0.01

Pen.Km	0	20	2105	268	1610	A	0.00
	0.2	20	14734	332	1024	B	0.00
	1	20	1198	378	433	C	0.00
Ocupação	0	20	0.4555	0.0029	0.45085	A	0.10
	0.2	20	0.4600	0.0087	0.43746	A	0.10
	1	20	0.4578	0.0064	0.44585	A	0.10

Relembre-se que estes testes foram realizados com os pesos da função objetivo referidos anteriormente, havendo uma menor variabilidade dos valores observados no custo total e nas penalizações de zona (maiores pesos). Como se pode verificar na tabela, o valor zero do parâmetro Alfa conduz aos melhores resultados para o custo total e penalizações de zona, não havendo diferenças significativas apenas relativamente ao valor de 0.2. Nos objetivos relacionados com quilómetros dos veículos, os piores resultados foram obtidos para $\alpha = 0$. Este caso é justificável pelo facto de os bons resultados dos outros valores de Alfa serem obtidos à custa de um maior número de veículos, fortemente penalizado no custo. Não se encontraram diferenças significativas relativamente aos objetivos de ocupação e diferenças de horas de trabalho. Assim, pode excluir-se à partida o valor 1 como recomendação. Os valores de 0 e 0.2 aparentam ter um desempenho semelhante. No entanto, apesar de não terem sido encontradas diferenças estatisticamente significativas, o valor do custo total apresentou uma média menor para $\alpha = 0$ pelo que se recomenda a utilização deste valor. Pode pensar-se que o valor nulo para o parâmetro alfa é redutor pois evita o carácter estocástico da fase de construção do algoritmo. No entanto, na grande maioria deste tipo de problemas há uma quantidade considerável de empates na hora de partida das rotas pelo que a diversificação na construção da solução inicial fica assegurada. Ou seja, há um número interessante de soluções iniciais possíveis, oferecido pela escolha aleatória de candidatos da RCL nos casos de empate. Relembre-se também que caso o custo total não seja uma prioridade, outros valores de Alfa poderão apresentar resultados interessantes.

7.3 Situação atual VS situação anterior

Nesta secção será realizada uma comparação entre as soluções adotadas pela empresa antes da realização deste projeto e as soluções calculadas pelo sistema de apoio à decisão (SAD). Pelo facto de não haver uma medição das soluções utilizadas até então, introduziu-se o plano atual no SAD, de modo a poder calcular-se os indicadores considerados no modelo. Note-se que foi necessário criar algumas partes da instância utilizada (referida na secção 7.2 e apresentada em detalhe na secção 7.3.1) por alguns indicadores serem uma novidade na empresa.

7.3.1 Instância Utilizada

Os dados utilizados para a leitura da situação atual e cálculo de soluções encontram-se no Anexo E. Repare-se que a disposição dos serviços e os pares condutor/veículo representados correspondem ao plano utilizado no mês de Maio para a distribuição do armazém de Gondomar. Para a matriz de penalizações, criada com o módulo programado para esse efeito, foi necessário atribuir uma zona a cada rota e motorista. Utilizaram-se as coordenadas médias de cada rota e a morada de cada motorista para que se pudessem definir as zonas a que cada entidade pertencia. Os dez centros de zona foram obtidos aleatoriamente por não se considerar o indicador de penalizações muito importante nesta comparação, servindo apenas como prova

da sua utilidade futura. O mapa resultante, representado na Figura 28 do Anexo E, contém os centros de zona, pontos representativos de cada rota e local de residência dos motoristas. A matriz de penalizações encontra-se na Tabela 15 do mesmo anexo. Os dados dos motoristas e dos veículos foram obtidos de ficheiros da empresa, constituindo apenas um agregado das informações necessárias. Os dados referentes a cada rota (Tabela 14 do Anexo E) foram obtidos a partir do *output* do trabalho de construção de rotas, anterior ao escalonamento, efetuado no *Tour Solver*. Apenas as colunas “Distância” e “Volumetria Prevista” foram retiradas do sistema de informação da empresa, com base numa estimativa dos valores observados em cada rota no mês de Maio.

7.3.2 Comparação de resultados

A Tabela 9 apresenta uma comparação dos resultados de uma boa solução (selecionada pela empresa) obtida pelo algoritmo com os resultados do plano executado em Maio no armazém de Gondomar. Deve ser dada especial atenção aos indicadores de custo e ocupação dos veículos visto que os restantes estão bastante dependentes dos dados relativos às penalizações a aplicar em cada caso, não sendo justo haver uma comparação tão linear. Apesar de se encontrarem melhorias nos indicadores de diferenças de horas e quilómetros, optou-se por não os apresentar pelo seu resultado, em termos de valor, ter pouca importância, servindo apenas como forma de suavizar injustiças relativamente às horas de trabalho e quilómetros percorridos em cada dia de trabalho (isto é, balanceando a carga de trabalho dos motoristas). Os custos de manutenção por quilómetro foram considerados iguais para todos os veículos, sendo que seria impossível que o algoritmo encontrasse reduções para este custo.

Tabela 9 - Comparação de resultados com uma boa solução na ótica da empresa

Custos Fixos		Custos Variáveis			Custo Total	Penalizações [Km]		Ocupação
Veículos	Condutores	Viagens	Manutenção	Horas Extra	Total	Zona	Km's	Veículos
Solução atual								
4106.00	7205.00	4087.11	904.32	255.94	16558.37	16507.00	4055.00	0.46
Exemplo de uma boa solução selecionada pela empresa obtida pelo algoritmo.								
3975.00	7205.00	4057.21	904.32	104.50	16246.03	14181.00	2499.00	0.46
Melhorias Percentuais								
3.19 %	0.00 %	0.73 %	0.00 %	59.17 %	1.89 %	14.09 %	38.37 %	0%

Em termos médios, comprova-se que o algoritmo também obtém melhores soluções do que aquela que se encontrava a ser utilizada na empresa. A Tabela 10 apresenta uma comparação de resultados de uma amostra de soluções obtidas com Alfa igual a zero, em termos médios, para os seis objetivos tidos em conta no algoritmo.

Tabela 10 - Comparação de resultados em termos médios

Custo total (€)	Dif.Horas (min)	Dif.Km (Km)	Pen.Zona (km)	Pen.Km (km)	Ocupação
Solução atual					
16558.37	7278.95	10153.54	16507.00	4055.00	0.46
Valores médios de uma amostra de soluções obtidas (20 observações, 5 iterações, Alfa = 0)					
16281.41	4860.40	5964.45	13797.70	2246.30	0.46
Melhorias Percentuais					
1.67 %	33.23 %	41.26 %	16.41 %	44.60 %	0.00 %

Como se pode verificar, o algoritmo consegue obter ganhos em quase todos os objetivos, criando uma solução de compromisso que espelha, tanto quanto possível, a sensibilidade do decisor. Repare-se que no que toca à ocupação, a solução atual possuía veículos cuja capacidade era excedida, o que apenas é possível na realidade porque os motoristas têm a possibilidade de juntar o conteúdo de alguns tabuleiros.

Sabia-se à partida que a magnitude dos ganhos monetários não seria muito elevada, dado o carácter bastante restritivo dos problemas de FJS. No entanto, são notórios os ganhos que uma ferramenta deste tipo pode oferecer não só relativamente à melhoria de indicadores mas também no tempo despendido para efetuar o planeamento. O planeamento abordado neste projeto demorava dois a três dias a ser realizado. Atualmente é possível obter bons escalonamentos em menos de 2 minutos, utilizando o tempo como critério de paragem do algoritmo. Existe também uma lógica por detrás do modelo que permite distinguir a qualidade de dois escalonamentos diferentes, o que não acontecia anteriormente.

Na Figura 18 ilustra-se a evolução de cada objetivo ao longo de uma corrida do algoritmo. Note-se que os valores de cada objetivo apresentam uma tendência de melhoria em cada fase de pesquisa local. Os picos são momentos em que se liberta a solução de mínimos locais que neste caso correspondem à construção de uma nova solução inicial. Neste caso a melhor solução foi obtida no final da segunda iteração onde o custo total (objetivo mais importante) foi mais baixo.

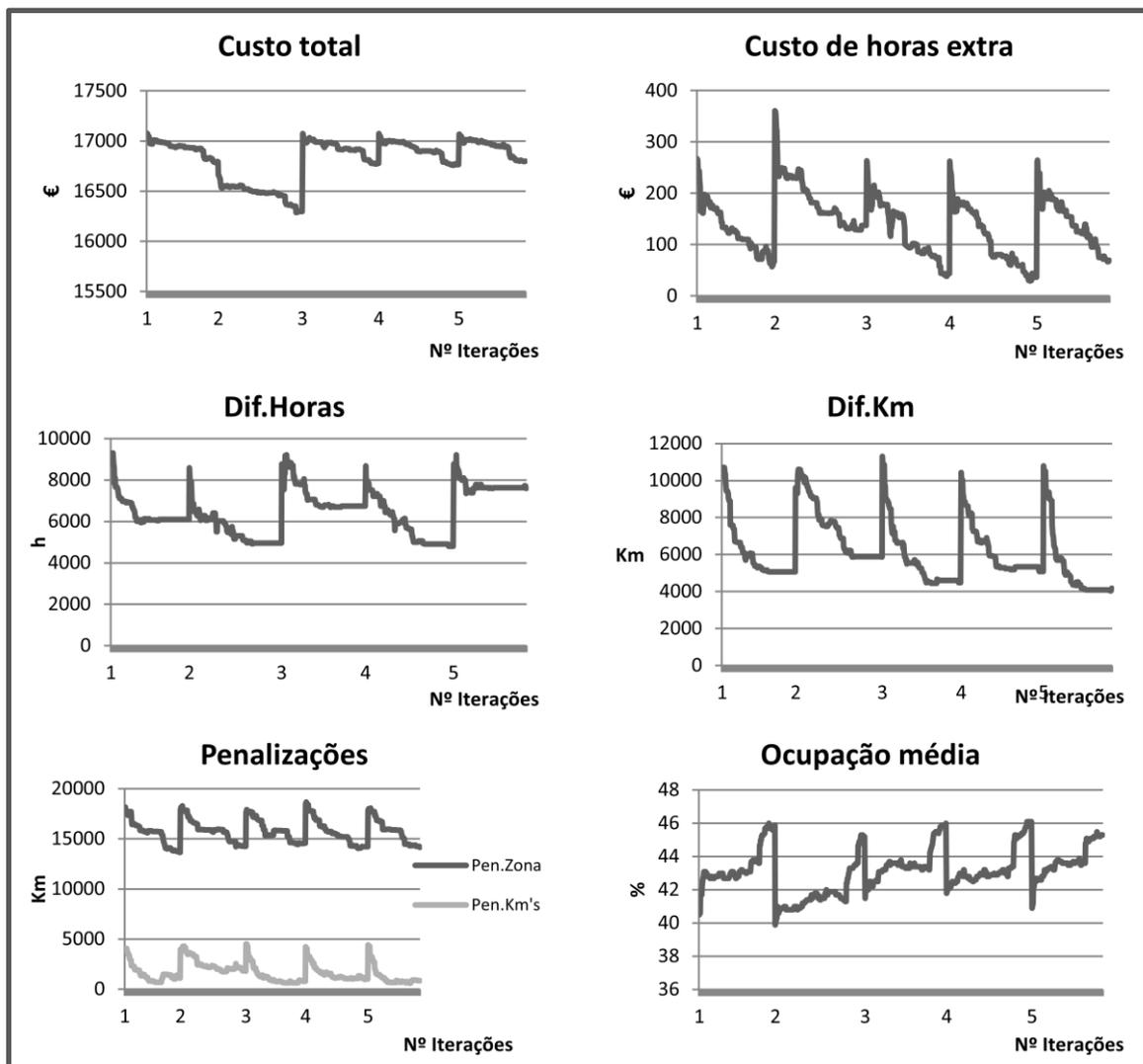


Figura 18 - Evolução de objetivos e indicadores na execução do algoritmo

8 Ferramenta “Escalas Dismed”

8.1 Introdução

Nesta secção será feita uma apresentação das principais funcionalidades da ferramenta desenvolvida ao longo deste projeto. Dado que não se pretendia apenas um algoritmo de otimização, foram implementadas outras funcionalidades no sentido de satisfazer as necessidades dos colaboradores da empresa. Algumas funções, apesar de simples, permitem libertar bastante tempo aos utilizadores, o que por si só justifica a sua inclusão na ferramenta.

Como se pode constatar pela Figura 19, a ferramenta permite definir os valores dos principais parâmetros utilizados no planeamento e fornece informações sobre estado dos principais indicadores ao longo do processo de otimização. Possui ainda botões com diferentes funções que serão apresentadas de seguida.

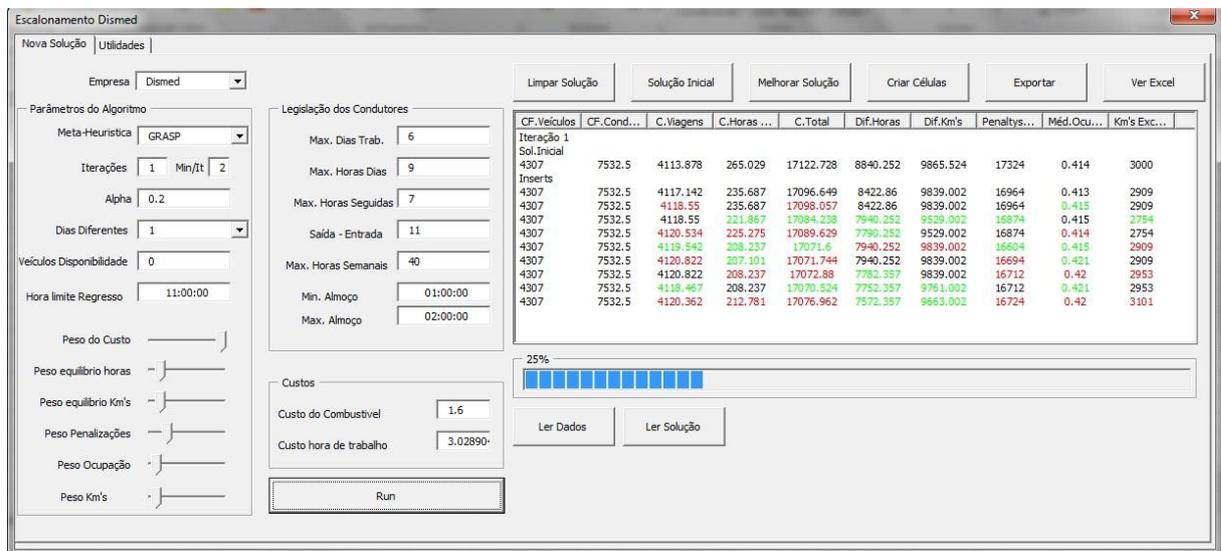


Figura 19 - Layout da ferramenta "Escalas Dismed"

8.2 Leitor de dados

O botão “Ler Dados” permite carregar dados de outros ficheiros de Excel. Deste modo, não é necessário introduzir todos os dados de condutores, veículos e rotas manualmente. Esta funcionalidade permite a prevenção de erros e a manipulação de dados respeitantes a cenários diferentes. Note-se que sendo uma empresa com cobertura nacional, o planeamento da atividade poderá ser repetido várias vezes utilizando dados respeitantes a cada zona ou armazém.

8.3 Leitor de soluções

O planeador pode ter a necessidade de executar uma alteração rápida a um dado plano, manualmente, com o objetivo de respeitar uma determinada restrição não contemplada. O planeador sabe exatamente qual a alteração que vai efetuar, estando apenas interessado em medir o seu impacto. O botão “Ler Solução” permite calcular todos os valores respeitantes a uma solução escrita num ficheiro Excel, sendo apenas necessário carregar os dados dos condutores, veículos e rotas utilizados no plano. O resultado final é apresentado da mesmo forma que uma solução criada de raiz.

8.4 Melhorias de solução

No caso de já existir uma solução inicial é possível efetuar melhorias nessa mesma solução. Depois de carregar a solução fazendo uso do leitor de soluções, o botão “Melhorar Solução” permite selecionar tipos de melhoria a realizar. Como se pode reparar na Figura 20, podem selecionar-se fases de movimentos a utilizar para explorar vizinhanças na pesquisa local do algoritmo.

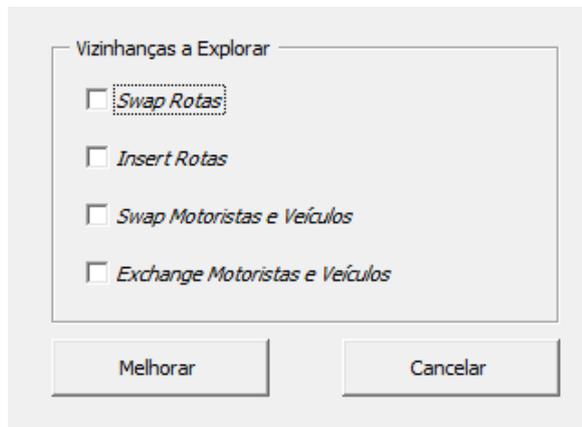


Figura 20 - Movimentos possíveis na função de melhorias

8.5 Criador de células

O botão “Cria Células” permite selecionar três critérios para criação de células. Esta função não efetua qualquer tipo de otimização visto que as células possuem pouco elementos, não havendo grande espaço para melhorias. Além disso, as restrições de capacidade dos veículos não permitem efetuar alterações profundas, tendo-se decidido deixar a otimização de parte neste ponto do planeamento.

O criador de células serve, então, para agrupar pares condutor/veículo, calculando o valor dos indicadores depois de uma rotação por todos os motoristas considerados. A Figura 21 apresenta o formulário correspondente a esta funcionalidade.

Figura 21 - Opções para criação de células

O produto desta função é uma folha “Células” com elementos iguais aos representados na Tabela 11. A tabela inclui uma célula por tipologia e informa que após os três condutores terem passado pelos três pontos da célula incorreu-se num custo total de 1000 unidades, um valor de penalizações de zona de 7600 unidades, um valor de quilómetros em excesso de 640 unidades e uma média de ocupação dos veículos de 0.33. Repare-se que, de acordo com a política de rotação por semana adotada pela empresa, uma célula com três condutores fica apenas completa no final da terceira semana, sendo este o período para o qual estão previstos estes valores.

Tabela 11 - Exemplo de célula

Tipologia	Condutores	Custo Extras + Viagens	Penaltys	Excesso Km's	Média Ocupação
C 3	Condutor 1	1000	7600	640	0.33
	Condutor 2				
	Condutor 3				

8.6 Exportador

O botão “Exportar”, como o próprio nome indica, cria um ficheiro de Excel contendo a solução presente na aplicação. Basicamente é criado um conjunto de folhas com o escalonamento planeado, não havendo a possibilidade de efetuar alterações utilizando o SAD. Esta funcionalidade gera um relatório a ser enviado aos responsáveis pela execução da atividade de distribuição, os motoristas.

8.7 Criador de soluções iniciais

Caso o utilizador pretenda obter uma solução de forma rápida, respeitando todas as restrições mas sem qualquer tipo de otimização, pode utilizar o botão “Solução Inicial”. Este botão acciona a fase de construção do algoritmo (*Greedy Randomized Construction*), criando uma solução tão aleatória quanto mais alto for o valor do parâmetro Alfa. Esta função é bastante útil para adquirir um *first feeling* da quantidade de recursos necessária para realizar um determinado conjunto de serviços.

9 Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

No decorrer do projeto “Escalonamento Dismed” atingiram-se inúmeros objetivos importantes, tanto do ponto de vista pessoal como do ponto de vista da empresa e do trabalho propriamente dito.

Numa empresa importa normalizar e automatizar os processos de planeamento, oferecendo-lhes um carácter mais científico, libertando tempo aos colaboradores da empresa. O tempo é um recurso escasso nas empresas e todas as atividades que permitam poupá-lo não devem ser implementadas. Apesar de ser importante descrever os processos de alguma forma, é necessário ter sempre em conta um limite razoável para o dessa descrição. Quer isto dizer que a fronteira dos modelos deve ser definida em parte pela experiência ou análise de casos recorrentes no dia a dia das empresas. Os modelos terão sempre culpa nas falhas, no entanto não se deveria esquecer que estes são entidades que apoiam a decisão, não devendo esperar-se que decidam autonomamente.

A implementação algoritmos deve ser realçada neste tipo de projetos. Talvez por falta de experiência, desprezou-se este fator na hora de fixar os requisitos não funcionais. Na verdade, o tempo de resolução do algoritmo é um dos pontos a melhorar na ferramenta, visto que retira bastante flexibilidade ao processo de decisão, impossibilitando um análise de cenários tão rápida quanto se deseja. Assim, pode tornar-se útil ter a possibilidade de utilizar mais do que um processador. Admite-se que existam falhas na programação do algoritmo e que seria possível chegar a um código capaz de correr de forma mais célere, no entanto é de notar que este não é o aspeto principal do trabalho. No limite, depois de definir todas as restrições do problema e todos requisitos da ferramenta, seria possível entregar o modelo a um especialista que se encarregaria de implementar o modelo. Visto que este facto não provocava qualquer inconveniente à empresa, optou-se por dar mais atenção a outros aspetos que influenciavam realmente o planeamento da operação.

A realização deste projeto permitiu compreender os principais *cost drivers* de uma empresa de distribuição, ganhar sensibilidade para a sua magnitude e adquirir noções de ações a tomar num planeamento eficaz da atividade de distribuição. Foi um ótimo exercício de gestão por se tratar de um negócio onde não incorre em custos adicionais por haver mais entregas, sendo necessário encontrar formas de potenciar o poder de negociação perante as farmácias.

Em termos académicos, o projeto possibilitou o estudo da área de otimização combinatória, permitindo adquirir conhecimentos sobre a maior parte das meta-heurísticas utilizadas na literatura. Pode afirmar-se que a meta-heurística GRASP escolhida possui a grande vantagem de ser simples e relativamente fácil de implementar. No entanto, para problemas de FJS, em que é grande a probabilidade de ficar preso em mínimos locais, seria interessante experimentar algo que permitisse destruir parcialmente a solução e voltar a construir como sugerido por Gendreau and Potvin (2010, pág. 408).

Para além dos conhecimentos de meta-heurísticas, a pesquisa realizada para definir a *Local Search* do algoritmo possibilitou o conhecimento de várias formas de lidar com outros tipos de problemas. Acontece que a literatura não justifica a maior parte das decisões tomadas, isto é, não esclarece o porquê da inclusão de determinados movimentos nem o porquê de se utilizar uma determinada ordem de utilização de heurísticas. Fica então uma sensação de que definir vizinhanças e regras de aceitação de vizinhos é, em grande parte, uma arte apoiada numa base que necessita apenas de produzir alguns efeitos quando aplicada a uma solução.

Algo que pode também afetar o tempo de resolução e a qualidade das soluções é a regra de aceitação das soluções às quais se aplicou um movimento. Apesar de não se apresentar números, foi perfeitamente visível a diferença de tempos de resolução sempre que se utilizava uma regra de *First Improve* e uma regra de *Best Improve*.

A eficiência das meta-heurísticas pode depender (e muito) do tipo de problema. Não é de todo indiferente aplicar uma determinada meta-heurística a um problema suscetível a mínimos locais, como é o caso do FJS, e a um problema menos suscetível a mínimos locais, como um JS normal. É necessário ganhar sensibilidade sobre estes assuntos de modo a definir corretamente quais as técnicas de melhoria e de saída de mínimos locais a aplicar. A percentagem de destruição de uma solução, numa tentativa de sair de um mínimo local, deveria ser estudada nos problemas retratados na literatura, com o objetivo de ajudar na escolha da meta-heurística a aplicar. Repare-se que a percentagem de destruição pode influenciar a qualidade recomendada da solução inicial, isto é, métodos mais destrutivos não necessitarão de soluções iniciais de boa qualidade.

Numa empresa pode ser complicado operacionalizar as soluções obtidas pelas ferramentas de apoio à decisão pelo facto de exigirem mudanças que devem ser calculadas e realizadas progressivamente. Uma mudança demasiado brusca pode de facto originar uma oscilação considerável no nível de trabalho e serviço habituais.

A nível pessoal, o trabalho em empresa é uma experiência enriquecedora a todos os níveis permitindo o conhecimento de diferentes formas de trabalhar e apurando um sentido de responsabilidade maior. Foi gratificante assistir à aplicação do algoritmo no armazém de Alcochete, tendo-se obtido uma solução dentro dos parâmetros definidos pela empresa.

Futuramente seria interessante estudar pontos deixados em aberto neste documento. Deveriam ter-se explorado outras combinações de movimentos na fase de pesquisa local, sendo também interessante estudar a ordem pela qual estes deveriam ser invocados.

Para além deste estudo, seria lógico realizar uma comparação entre meta-heurísticas, dadas as características bastante particulares do problema em questão. Sugere-se a aplicação de uma das versões do VNS (*Variable Neighbourhood Search*) por constituir uma abordagem diferente visto que já não se pode afirmar que seja uma meta-heurísticas *multi-start*. Num problema de tão grande dimensão, certamente será uma boa oportunidade para colocar à prova as três observações apresentadas por Hansen and Mladenović (2001), apurando se um mínimo local oferece sempre informações sobre um mínimo global.

Por último, existem inúmeras possibilidades de estudar o algoritmo implementado na Dismed alterando os pesos, os parâmetros caracterizadores do problema e a dimensão da instância. Neste documento não se realizaram comparações utilizando diferentes combinações para cada uma destas dimensões. Como estudo futuro, seria interessante realizar as referidas comparações de modo a poder definir-se em que problemas o algoritmo reage melhor.

Referências

- Aiex, R. M., S. Binato, and M. G. C. Resende. 2003. "Parallel GRASP with path-relinking for job shop scheduling." *Parallel Computing* no. 29 (4 SPEC.):393-430.
- Almada-Lobo, B. 2007. *Lotsizing and Scheduling in the Glass Container Industry*. PhD Thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Argüello, M. F., J. F. Bard, and G. Yu. 1997. "A GRASP for aircraft routing in response to groundings and delays." *Journal of Combinatorial Optimization* no. 1 (3):211-228.
- Arkin, Esther M., and Ellen B. Silverberg. 1987. "Scheduling jobs with fixed start and end times." *Discrete Applied Mathematics* no. 18 (1):1-8.
- Baita, F., R. Pesenti, W. Ukovich, and D. Favaretto. 2000. "A comparison of different solution approaches to the vehicle scheduling problem in a practical case." *Computers & Operations Research* no. 27 (13):1249-1269.
- Ball, M., L. Bodin, and R. Dial. 1983. "A matching based heuristic for scheduling mass transit crews and vehicles." *Transportation Science* no. 17 (1):4-31.
- Ballou, Ronald H. 1997. "Business logistics: importance and some research opportunities." *Gestão & Produção* no. 4:pág. 2, pág. 5, 117-129.
- Barany, M., B. Bertok, Z. Kovacs, F. Friedler, and L. T. Fan. 2010. "Optimization software for solving vehicle assignment problems to minimize cost and environmental impact of transportation." *CHEMICAL ENGINEERING* no. 21:499-504.
- Bouzina, K. I., and H. Emmons. 1996. "Interval scheduling on identical machines." *Journal of Global Optimization* no. 9 (3-4):379-393.
- Caprara, A., M. Fischetti, P. Toth, D. Vigo, and P. L. Guida. 1997. "Algorithms for railway crew management." *Mathematical Programming, Series B* no. 79 (1-3):125-141.
- Cunha, C. B., and F. Mutarelli. 2007. "A spreadsheet-based optimization model for the integrated problem of producing and distributing a major weekly newsmagazine." *European Journal of Operational Research* no. 176 (2):925-940.
- de Araujo, Silvio A., Marcos N. Arenales, and Alistair R. Clark. 2008. "Lot sizing and furnace scheduling in small foundries." *Computers & Operations Research* no. 35 (3):916-932.
- De Brito, M.P., and R. Dekker. 2004. "A framework for reverse logistics." *Reverse Logistics. Quantitative models for closed-loop supply chains*:1-27.
- Dekker, R. 2004. *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*: Springer.
- Desaulniers, G., J. Desrosiers, Y. Dumas, S. Marc, B. Rioux, M. M. Solomon, and F. Soumis. 1997. "Crew pairing at Air France." *European Journal of Operational Research* no. 97 (2):245-259.
- Du, D., and P.M. Pardalos. 1998. *Handbook of Combinatorial Optimization*: Kluwer Academic Publishers.

- Eliyi, D. T., A. Ornek, and S. S. Karakütük. 2009. "A vehicle scheduling problem with fixed trips and time limitations." *International Journal of Production Economics* no. 117 (1):150-161.
- Ernst, A. T., H. Jiang, M. Krishnamoorthy, and D. Sier. 2004. "Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models." *European Journal of Operational Research* no. 153 (1):3-27.
- Feo, Thomas A., and Mauricio G. C. Resende. 1995. "Greedy Randomized Adaptive Search Procedures." *Journal of Global Optimization* no. 6 (2):109-133.
- Fernández Quesada, I. 2003. *Análisis de la logística inversa en el entorno empresarial. Una aproximación cualitativa*, Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, Oviedo.
- Fischetti, Matteo, Silvano Martello, and Paolo Toth. 1987. "THE FIXED JOB SCHEDULE PROBLEM WITH SPREAD-TIME CONSTRAINTS." *Operations Research* no. 35 (6):849.
- Fortnow, Lance. 2009. "The Status of the P versus NP Problem." *Communications of the ACM* no. 52 (9):78-86.
- Gendreau, M., and J.Y. Potvin. 2010. *Handbook of Metaheuristics*: Springer.
- Gennert, M.A., A.L. Yuille, and Worcester Polytechnic Institute. Dept. of Computer Science. 1988. *Determining the optimal weights in multiple objective function optimization*: Worcester Polytechnic Institute.
- Gopalakrishnan, B., and E. L. Johnson. 2005. "Airline crew scheduling: State-of-the-art." *Annals of Operations Research* no. 140 (1):305-337.
- Grodzevich, Oleg, and Oleksandr Romanko. 2006. "Normalization and Other Topics in Multi-Objective Optimization." *Fields-MITACS Industrial Problems Workshop*:89.
- Haase, K., G. Desaulniers, and J. Desrosiers. 2001. "Simultaneous vehicle and crew scheduling in urban mass transit systems." *Transportation Science* no. 35 (3):286-303.
- Hansen, Pierre, and Nenad Mladenović. 2001. "Variable neighborhood search: Principles and applications." *European journal of operational research* no. 130 (3):449-467.
- Hegazy, T., and T. Ersahin. 2001. "Simplified spreadsheet solutions. II: Overall schedule optimization." *Journal of Construction Engineering and Management* no. 127 (6):469-475.
- Hoffman, K. L. 2000. "Combinatorial optimization: Current successes and directions for the future." *Journal of Computational and Applied Mathematics* no. 124 (1-2):341-360.
- Jian, Z., F. Jie, P. T. Steven, L. Wenquan, and R. Bin. 2011. Fixed job scheduling model for single depot transit vehicle assignment. Paper read at Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2011 International Conference on.
- Kim, I.Y., and O. de Weck. 2004. Adaptive weighted sum method for multiobjective optimization. Paper read at 10th AIAA/ISSMO MDAO Conference, AIAA.
- KNAPP. *KNAPP - Sorting & Dispatch preparation* 2012. Available from http://knap.com/cms/cms.php?pageName=Sorting_dispatch_preparation.
- Kroon, Leo G., Marc Salomon, and Luk N. Van Wassenhove. 1997. "Exact and approximation algorithms for the tactical fixed interval scheduling problem." *Operations Research* no. 45 (4):pág. 192, (624).
- Laporte, G., and F. Semet. 2002. "Classical heuristics for the capacitated VRP." *The vehicle routing problem* no. 9:109-128.
- Lawler, E.L. 2001. *Combinatorial Optimization: Networks and Matroids*: Dover Publications.
- LeBlanc, L. J., and M. R. Galbreth. 2007. "Implementing large-scale optimization models in excel using VBA." *Interfaces* no. 37 (4):370-382.
- Medlog, Grupo. 2010. Relatório & Contas 2010.
- Medlog, Grupo. 2011. Relatório & Contas 2011.

- Moura, A., and J. F. Oliveira. 2005. "A GRASP approach to the container-loading problem." *IEEE Intelligent Systems* no. 20 (4):50-57.
- Ropke, S. 2005. "Heuristic and exact algorithms for vehicle routing problems." *Unpublished PhD thesis, Computer Science Department, University of Copenhagen.*
- Santiago-Mozos, Ricardo, Sancho Salcedo-Sanz, Mario DePrado-Cumplido, and Carlos Bousoño-Calzón. 2005. "A two-phase heuristic evolutionary algorithm for personalizing course timetables: a case study in a Spanish university." *Computers & Operations Research* no. 32 (7):1761-1776.
- Spivey, M. Z., and W. B. Powell. 2004. "The dynamic assignment problem." *Transportation Science* no. 38 (4):399-419.
- Vance, Pamela H., Cynthia Barnhart, Ellis L. Johnson, and George L. Nemhauser. 1997. "Airline crew scheduling: A new formulation and decomposition algorithm." *Operations Research* no. 45 (2):188.
- Xiaofeng, Shao, and Ji Jianhua. 2006. "Reconfiguration of Pharmaceutical Logistics Operations in China: An Empirical Study." *Transportation Journal (American Society of Transportation & Logistics Inc)* no. 45 (4):52-66.

ANEXO A: Entidades e relações presentes no modelo de *Fixed Job Scheduling*

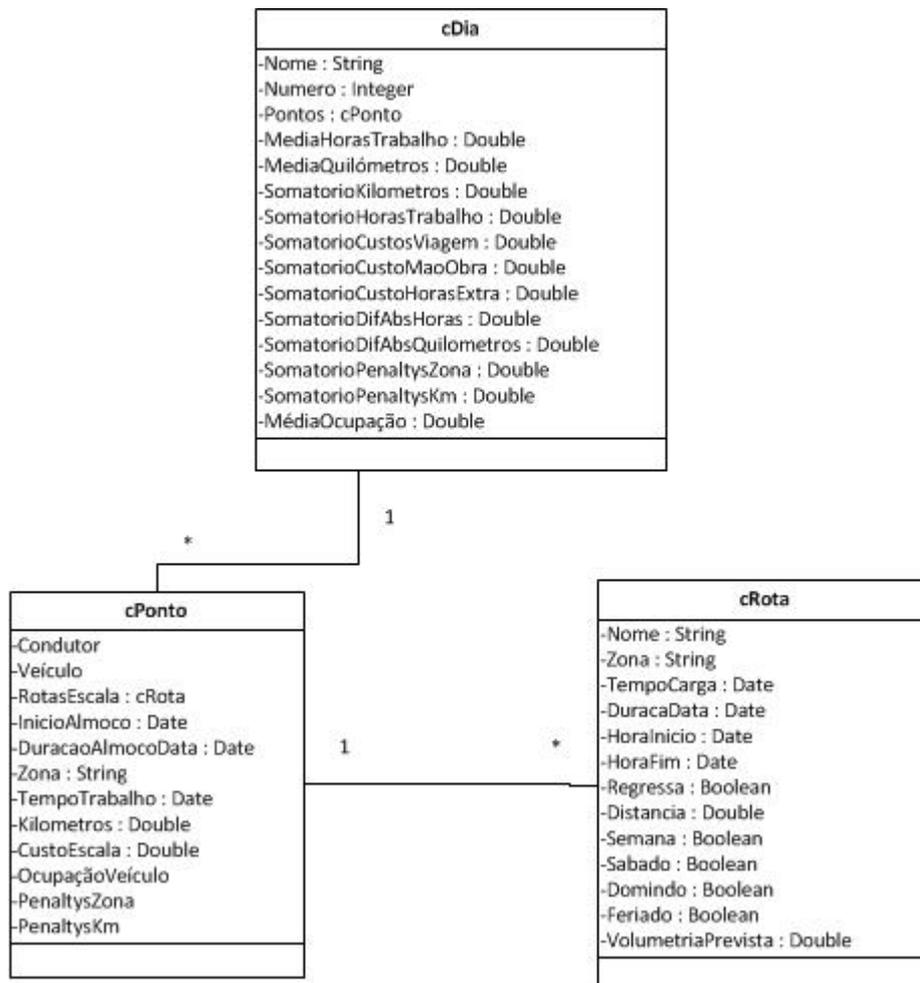


Figura 22 - Diagrama UML caracterizador das entidades do modelo de FJS

ANEXO B: Entidades e relações presentes no modelo de *Crew Assignment*

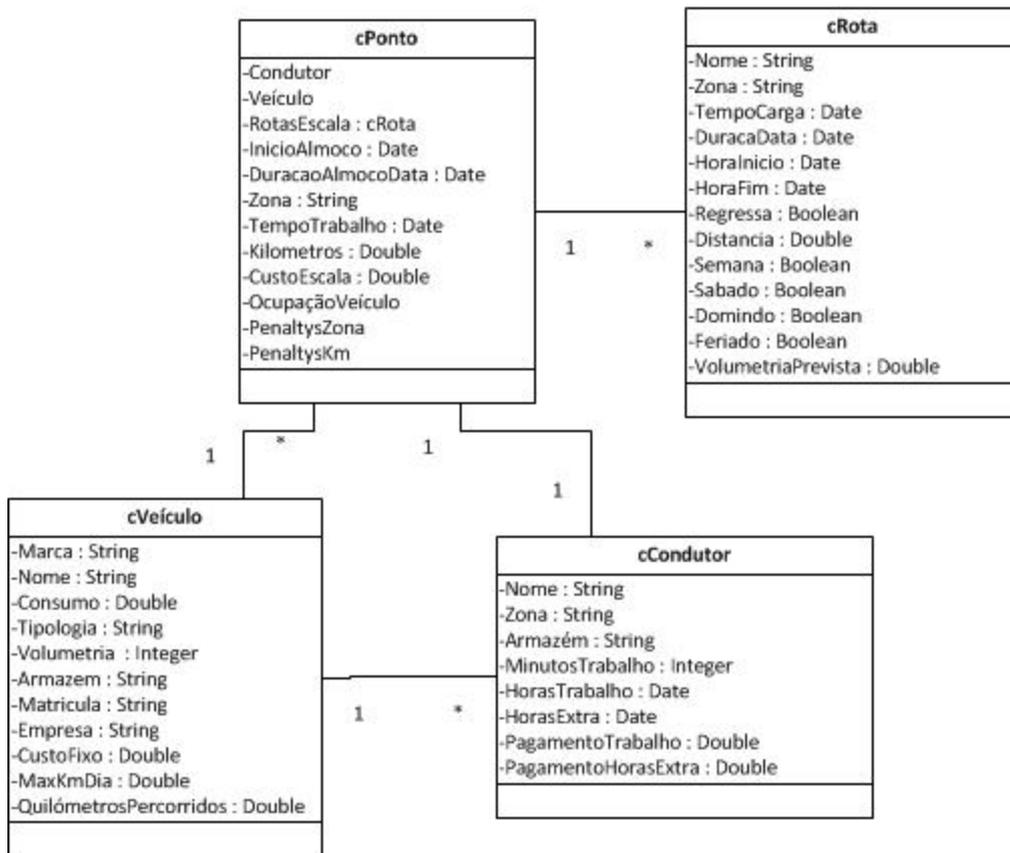


Figura 23 - Diagrama UML caracterizador das entidades presentes no modelo de *Crew Assignment*

ANEXO C: Caracterização das entidades e relações presentes no modelo final

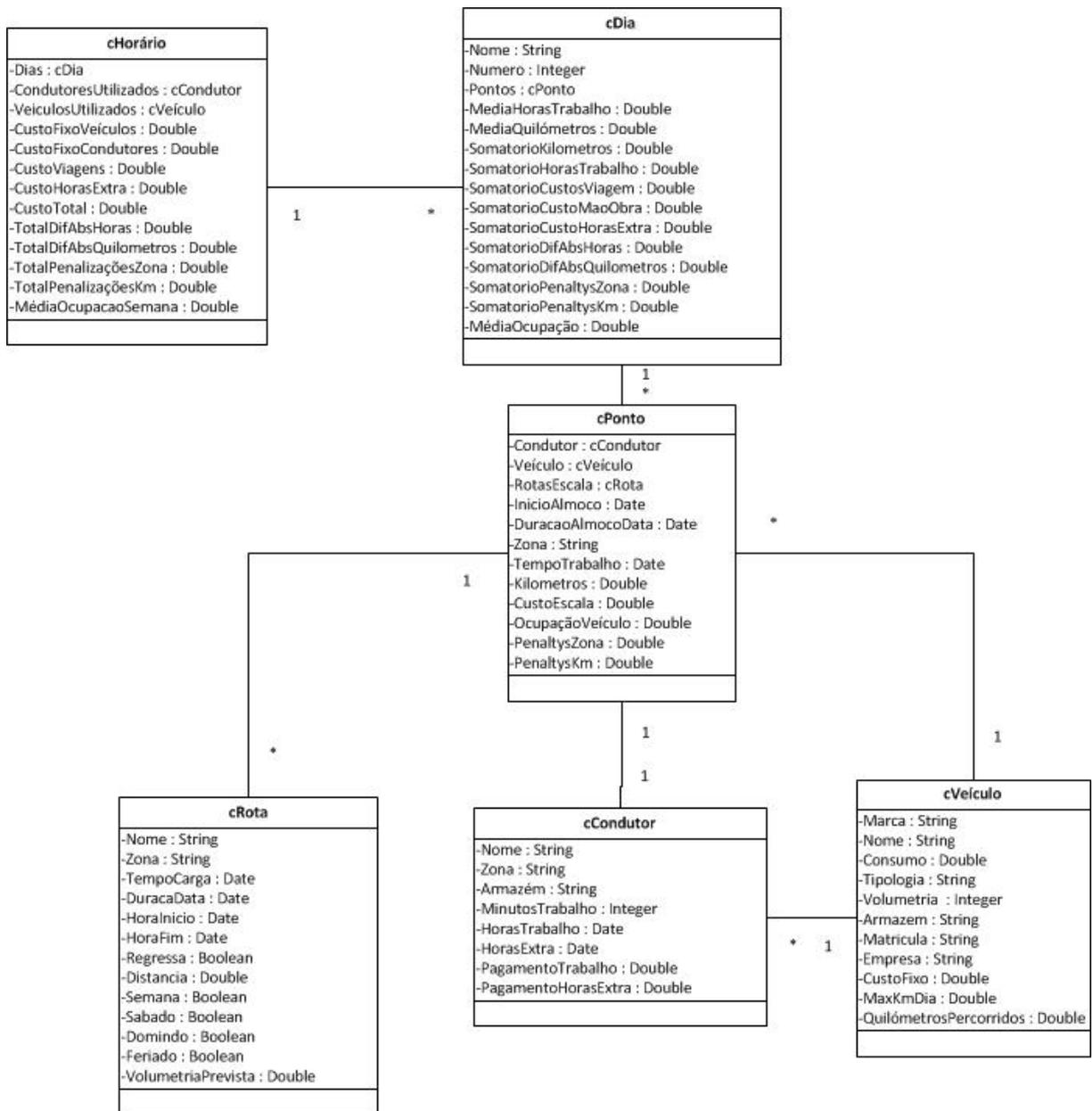


Figura 24 - Diagrama UML caracterizador das entidades presentes no modelo utilizado no algoritmo

ANEXO D: Representação da solução

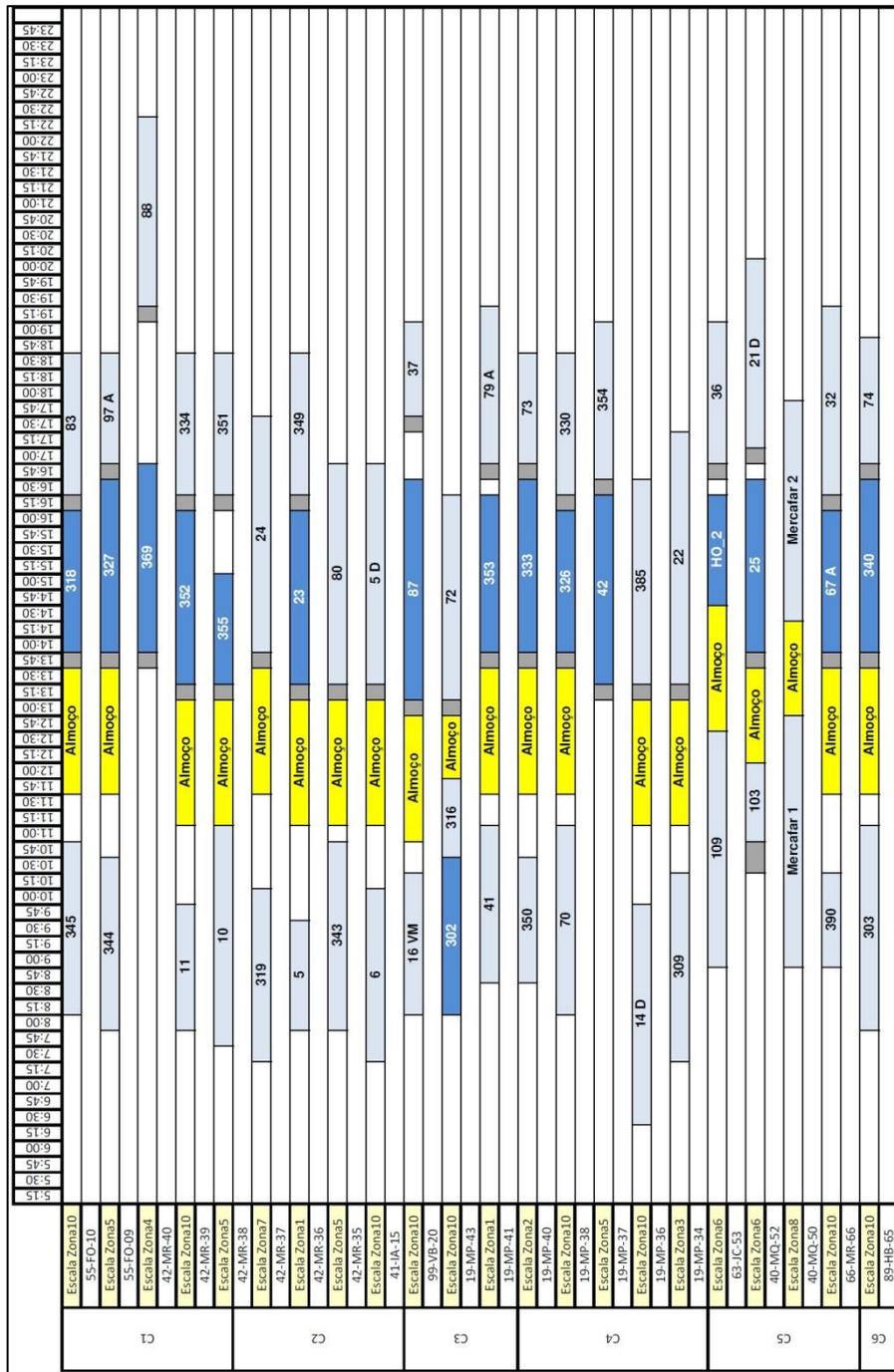


Figura 25 - Exemplo de escalonamento de um dia

Motorista	Duração	Km's Percorridos	Custo Viagens	Custo Manutenção	Custo Horas Extra	Horas Extra	Ocupação Veiculo	Penaltys
João Vitor Silva	07:45:00	235	30.46	7.05	4.32	00:57:00	0.51	188
Lino Ferreira	07:45:00	238	30.84	7.14	5.07	01:06:00	0.45	108
José António Alves Vieira	06:30:00	197	25.53	5.91	0.00	00:00:00	0.40	96
José Manuel Oliveira Ferreira	07:30:00	236	30.59	7.08	0.68	00:09:00	0.48	216
Paulo Alexandre Rocha Coelho	08:00:00	252	32.66	7.56	2.95	00:39:00	0.37	108
Joaquim Man. Costa Lopes Botelho	06:45:00	134	17.37	4.02	0.45	00:06:00	0.52	62
José Luis Carneiro Faria	07:15:00	272	35.25	8.16	0.23	00:03:00	0.40	118
Francisco Manuel Alrosa Gouveia	06:45:00	250	32.40	7.5	0.00	00:00:00	0.72	110
Salvador Fernando Neves Duraes	06:30:00	456	59.10	13.68	0.00	00:00:00	0.48	21
Alcindo Fermanco Pinho	07:45:00	220	31.33	6.6	1.82	00:24:00	0.27	210
José Pedro Mesquita Alves	07:15:00	246	35.03	7.38	2.50	00:33:00	0.36	165
Vitor Hugo Sousa	08:00:00	239	34.03	7.17	6.13	01:18:00	0.31	154
Marco Lopes	07:00:00	195	27.77	5.85	1.14	00:15:00	0.32	153
José Eduardo Alves Barros Cruz	08:00:00	196	27.91	5.88	3.18	00:42:00	0.42	216
Orlando Gonçalves	06:00:00	239	34.03	7.17	0.00	00:00:00	0.39	110
Paulo Meireles Coelho	07:00:00	289	41.15	8.67	0.00	00:00:00	0.60	93
José Gaspar Pereira Almeida	07:15:00	210	29.90	6.3	0.00	00:00:00	0.62	18
Aderito Jorge P. Magalhães	08:00:00	234	31.82	7.02	0.00	00:00:00	0.51	0
Rui Miguel Monteiro	08:00:00	339	46.10	10.17	0.00	00:00:00	0.57	51
Heider Monteiro	07:30:00	167	22.71	5.01	3.86	00:51:00	0.38	108
Nuno Batista	07:15:00	256	34.82	7.68	0.00	00:00:00	0.62	165
Paulo Alexandre M. Martins Santos	08:30:00	221	29.47	6.63	2.27	00:30:00	0.79	216
Total	162:25	5321	720:28	159:63	34:61		0.48	2686

Figura 26 - Informação referente a um dia de trabalho

Nome	Parâmetro	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado	Total
Salvador Fernando Neves Duraes	Tempo Trab.	00:00:00	06:30:00	06:30:00	06:30:00	06:30:00	06:30:00	03:00:00	35:30:00
41-1A-15	Horas Extra	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0:00:00
2352 Km's	Custo Extra	0	0	0	0	0	0	0	0
José Gaspar Pereira Almeida	Tempo Trab.	00:00:00	07:15:00	07:15:00	07:15:00	07:15:00	07:15:00	03:00:00	39:15:00
19-MP-34	Horas Extra	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0:00:00
1152 Km's	Custo Extra	0	0	0	0	0	0	0	0
Paulo Meireles Coelho	Tempo Trab.	00:00:00	07:00:00	07:00:00	07:00:00	07:00:00	07:00:00	03:00:00	38:00:00
19-MP-36	Horas Extra	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0:00:00
1500 Km's	Custo Extra	0	0	0	0	0	0	0	0
Francisco Manuel Airosa Gouveia	Tempo Trab.	00:00:00	06:45:00	06:45:00	06:45:00	06:45:00	06:45:00	03:30:00	37:15:00
42-MR-35	Horas Extra	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0:00:00
1423 Km's	Custo Extra	0	0	0	0	0	0	0	0
José Luis Carneiro Faria	Tempo Trab.	00:00:00	07:15:00	07:15:00	07:15:00	07:15:00	07:15:00	04:00:00	40:15:00
42-MR-36	Horas Extra	00:00:00	00:03:00	00:03:00	00:03:00	00:03:00	00:03:00	00:00:00	0:15:00
1412 Km's	Custo Extra	0	0.22716783	0.22716783	0.22716783	0.22716783	0.22716783	0	1.13583915
Joaquim Man.Costa Lopes Botelho	Tempo Trab.	00:00:00	06:45:00	06:45:00	06:45:00	06:45:00	06:45:00	06:45:00	40:30:00
42-MR-37	Horas Extra	00:00:00	00:06:00	00:06:00	00:06:00	00:06:00	00:06:00	00:00:00	0:30:00
1028 Km's	Custo Extra	0	0.45433566	0.45433566	0.45433566	0.45433566	0.45433566	0	2.2716783
Paulo Alexandre Rocha Coelho	Tempo Trab.	00:00:00	08:00:00	08:00:00	08:00:00	08:00:00	08:00:00	03:15:00	19:15:00
42-MR-38	Horas Extra	00:00:00	00:39:00	00:39:00	00:39:00	00:39:00	00:39:00	00:00:00	3:15:00
1406 Km's	Custo Extra	0	2.95318179	2.95318179	2.95318179	2.95318179	2.95318179	0	14.76590895

Figura 27 – Exemplo de horas de trabalho realizadas na semana por cada condutor

ANEXO E: Instância Utilizada**Tabela 12 - Dados dos condutores**

Nome	Zona	Armazém	Empresa	Custo Fixo [€]
Salvador Fernando Neves Duraes	Zona10	AG	Dismed	327.5
José Gaspar Pereira Almeida	Zona3	AG	Dismed	327.5
Paulo Meireles Coelho	Zona10	AG	Dismed	327.5
Francisco Manuel Airosa Gouveia	Zona5	AG	Dismed	327.5
José Luís Carneiro Faria	Zona1	AG	Dismed	327.5
Joaquim Man.Costa Lopes Botelho	Zona7	AG	Dismed	327.5
Paulo Alexandre Rocha Coelho	Zona5	AG	Dismed	327.5
José Manuel Oliveira Ferreira	Zona10	AG	Dismed	327.5
José António Alves Vieira	Zona4	AG	Dismed	327.5
Lino Ferreira	Zona5	AG	Dismed	327.5
João Vitor Silva	Zona10	AG	Dismed	327.5
Orlando Gonçalves	Zona5	AG	Dismed	327.5
José Eduardo Alves Barros Cruz	Zona10	AG	Dismed	327.5
Marco Lopes	Zona2	AG	Dismed	327.5
Vitor Hugo Sousa	Zona1	AG	Dismed	327.5
José Pedro Mesquita Alves	Zona10	AG	Dismed	327.5
Alcindo Fernanco Pinho	Zona10	AG	Dismed	327.5
Nuno Batista	Zona10	AG	Dismed	327.5
Helder Monteiro	Zona8	AG	Dismed	327.5
Rui Miguel Monteiro	Zona6	AG	Dismed	327.5
Aderito Jorge P. Magalhães	Zona6	AG	Dismed	327.5
Paulo Alexandre M.Martins Santos	Zona10	AG	Dismed	327.5
Joaquim Silva Pedroso	Zona10	AG	Dismed	327.5

Tabela 13 - Dados dos veículos

Modelo	Consumo L/100 Km	Volumetria [m ³]	CustoFixoSemanal [€]	Custo Manutenção [€/Km]	Max. Km Semana [Km]
Vito 7-Standard TA	8.10	9.4	151	0.03	1400
Vito 7-Standard TA	8.10	9.4	151	0.03	1400
Vito 7-Standard TA	8.10	9.4	151	0.03	1400
Vito 7-Standard TA	8.10	9.4	151	0.03	1400
Vito 7-Standard TA	8.10	9.4	151	0.03	1400
Vito 7-Standard TA	8.10	9.4	151	0.03	1400
Vito 7-Standard TA	8.10	9.4	151	0.03	1400
Vito 7-Standard TA	8.10	9.4	151	0.03	1400
Vito 7-Standard TA	8.10	9.4	151	0.03	1400
Sprinter 213	8.90	14.0	232	0.03	1400
Sprinter 213	8.90	14.0	232	0.03	1400
Sprinter 213	8.90	14.0	232	0.03	1400
Sprinter 213	8.90	14.0	232	0.03	1400
Sprinter 213	8.90	14.0	232	0.03	1400
Sprinter 213	8.90	14.0	232	0.03	1400
Sprinter 213	8.90	14.0	232	0.03	1400
Sprinter 213	8.90	14.0	232	0.03	1400
FORD TRANS.260S L3/2.2 100CV	8.50	6.0	182	0.03	1400
FORD TRANS.260S L3/2.2 100CV	8.50	6.0	182	0.03	1400
FORD TRANS.260S L3/2.2 100CV	8.50	6.0	182	0.03	1400
FORD TRANS.260S L3/2.2 100CV	8.50	6.0	182	0.03	1400
Transit 280S TM	8.33	6.8	182	0.03	1400
Transit 280S TM	8.33	6.8	182	0.03	1400
FIAT-SCUDO1.6-90 CV	8.40	7.0	182	0.03	1400
Transit 350EL	10.00	12.3	182	0.03	1400

Tabela 14 - Dados das rotas

Rota	Zona	Tempo de Carga (hh:mm:ss)	Hora de Início (hh:mm:ss)	Hora de Fim (hh:mm:ss)	Duracao (hh:mm:ss)	Distância [km]	Volumetria Prevista [m ³]
10	Zona5	00:00:00	07:45:00	11:15:00	03:30:00	173	3.55
25	Zona6	00:15:00	14:00:00	16:45:00	02:45:00	39	4.60
74	Zona6	00:15:00	17:00:00	19:00:00	02:00:00	111	3.20
41	Zona6	00:00:00	08:45:00	11:15:00	02:30:00	75	7.85
385	Zona6	00:15:00	13:30:00	16:45:00	03:15:00	48	5.70
97 A	Zona5	00:15:00	17:00:00	18:45:00	01:45:00	118	2.35
70	Zona6	00:00:00	08:15:00	11:15:00	03:00:00	72	7.60
22	Zona3	00:15:00	13:30:00	17:30:00	04:00:00	108	5.95
316	Zona6	00:00:00	10:45:00	12:00:00	01:15:00	31	2.75
327	Zona6	00:15:00	14:00:00	16:45:00	02:45:00	53	4.50
73	Zona6	00:15:00	17:00:00	18:45:00	01:45:00	69	3.05
16 VM	Zona6	00:00:00	08:15:00	10:30:00	02:15:00	40	2.80
103	Zona6	00:30:00	11:00:00	12:15:00	01:15:00	44	2.35
333	Zona6	00:15:00	14:00:00	16:45:00	02:45:00	64	4.10
79 A	Zona7	00:15:00	17:00:00	19:30:00	02:30:00	134	1.95
Mercafar 1	Zona6	00:00:00	09:00:00	13:00:00	04:00:00	52	1.90
Mercafar 2	Zona6	00:00:00	14:30:00	18:00:00	03:30:00	115	2.70
309	Zona6	00:00:00	07:30:00	10:30:00	03:00:00	102	11.5
72	Zona1	00:15:00	13:15:00	16:30:00	03:15:00	134	4.25
345	Zona6	00:00:00	08:15:00	11:00:00	02:45:00	49	8.60
340	Zona6	00:15:00	14:00:00	16:45:00	02:45:00	51	6.45
36	Zona6	00:15:00	17:00:00	19:15:00	02:15:00	71	3.15
302	Zona6	00:00:00	08:15:00	10:45:00	02:30:00	81	8.10
355	Zona6	00:15:00	13:30:00	15:15:00	01:45:00	30	2.75
334	Zona6	00:15:00	16:30:00	18:45:00	02:15:00	86	2.95
369	Zona6	00:15:00	14:00:00	17:00:00	03:00:00	68	2.95
21 D	Zona2	00:15:00	17:15:00	20:15:00	03:00:00	256	3.35
344	Zona6	00:00:00	08:00:00	10:45:00	02:45:00	67	5.90
5 D	Zona10	00:15:00	13:30:00	17:00:00	03:30:00	328	4.55
303	Zona6	00:00:00	08:00:00	11:15:00	03:15:00	59	6.40
353	Zona6	00:15:00	14:00:00	16:30:00	02:30:00	30	3.10
354	Zona6	00:15:00	16:45:00	19:15:00	02:30:00	63	3.95
14 D	Zona1	00:00:00	06:30:00	10:00:00	03:30:00	241	11.05
42	Zona7	00:15:00	13:30:00	16:30:00	03:00:00	176	6.85
5	Zona1	00:00:00	08:00:00	09:45:00	01:45:00	132	4.10
23	Zona6	00:15:00	13:30:00	16:15:00	02:45:00	82	4.85
83	Zona7	00:15:00	16:30:00	18:45:00	02:15:00	153	1.90
319	Zona6	00:00:00	07:30:00	10:15:00	02:45:00	63	5.10
24	Zona6	00:15:00	14:00:00	17:45:00	03:45:00	71	4.65
6	Zona1	00:00:00	07:30:00	10:15:00	02:45:00	128	4.55
80	Zona7	00:15:00	13:30:00	17:00:00	03:30:00	195	6.65
350	Zona6	00:00:00	08:45:00	10:45:00	02:00:00	62	6.25

352	Zona6	00:15:00	13:30:00	16:15:00	02:45:00	26	4.10
351	Zona6	00:15:00	16:30:00	18:45:00	02:15:00	49	4.05
343	Zona6	00:00:00	08:00:00	11:00:00	03:00:00	55	6.90
318	Zona6	00:15:00	14:00:00	16:15:00	02:15:00	33	3.75
349	Zona6	00:15:00	16:30:00	18:45:00	02:15:00	58	2.30
11	Zona6	00:00:00	08:00:00	10:00:00	02:00:00	124	6.40
67 A	Zona6	00:15:00	14:00:00	16:15:00	02:15:00	40	4.75
32	Zona1	00:15:00	16:30:00	19:30:00	03:00:00	114	1.65
390	Zona6	00:00:00	09:00:00	10:30:00	01:30:00	102	4.80
326	Zona6	00:15:00	14:00:00	16:15:00	02:15:00	59	6.35
37	Zona6	00:15:00	17:45:00	19:15:00	01:30:00	18	1.60
87	Zona5	00:15:00	13:15:00	16:45:00	03:30:00	162	6.75
88	Zona5	00:15:00	19:30:00	22:30:00	03:00:00	129	4.65
330	Zona6	00:15:00	16:30:00	18:45:00	02:15:00	65	3.65
90 + Livre	Zona7	00:00:00	14:30:00	18:30:00	04:00:00	100	2.50
Zona 3	Zona7	00:00:00	14:30:00	18:30:00	04:00:00	200	2.25
105 + 201	Zona6	00:00:00	14:30:00	18:30:00	04:00:00	141	3.90
96 + Livre	Zona7	00:00:00	14:30:00	18:30:00	04:00:00	148	2.50
Zona 2	Zona7	00:00:00	14:30:00	18:30:00	04:00:00	184	2.25
105 + 201.	Zona6	00:00:00	14:30:00	18:30:00	04:00:00	141	3.90
77	Zona2	00:00:00	14:30:00	18:30:00	04:00:00	295	5.30
96 + 82	Zona7	00:00:00	14:30:00	18:30:00	04:00:00	295	4.25
12 A	Zona5	00:00:00	14:30:00	18:30:00	04:00:00	220	2.70
109	Zona6	00:00:00	09:00:00	12:45:00	03:45:00	63	4.00
HO_2	Zona6	00:00:00	14:45:00	16:30:00	01:45:00	100	2.00

Tabela 15 - Matriz de penalizações

	Zona1	Zona2	Zona3	Zona4	Zona5	Zona6	Zona7	Zona8	Zona9	Zona10
Zona1	0	22	52	27	45	59	36	21	31	21
Zona2	22	0	38	47	59	51	21	3	52	23
Zona3	52	38	0	67	61	18	17	41	74	61
Zona4	27	47	67	0	28	68	55	47	7	45
Zona5	45	59	61	28	0	54	56	59	33	66
Zona6	59	51	18	68	54	0	31	54	75	72
Zona7	36	21	17	55	56	31	0	24	62	44
Zona8	21	3	41	47	59	54	24	0	51	20
Zona9	31	52	74	7	33	75	62	51	0	47
Zona10	21	23	61	45	66	72	44	20	47	0

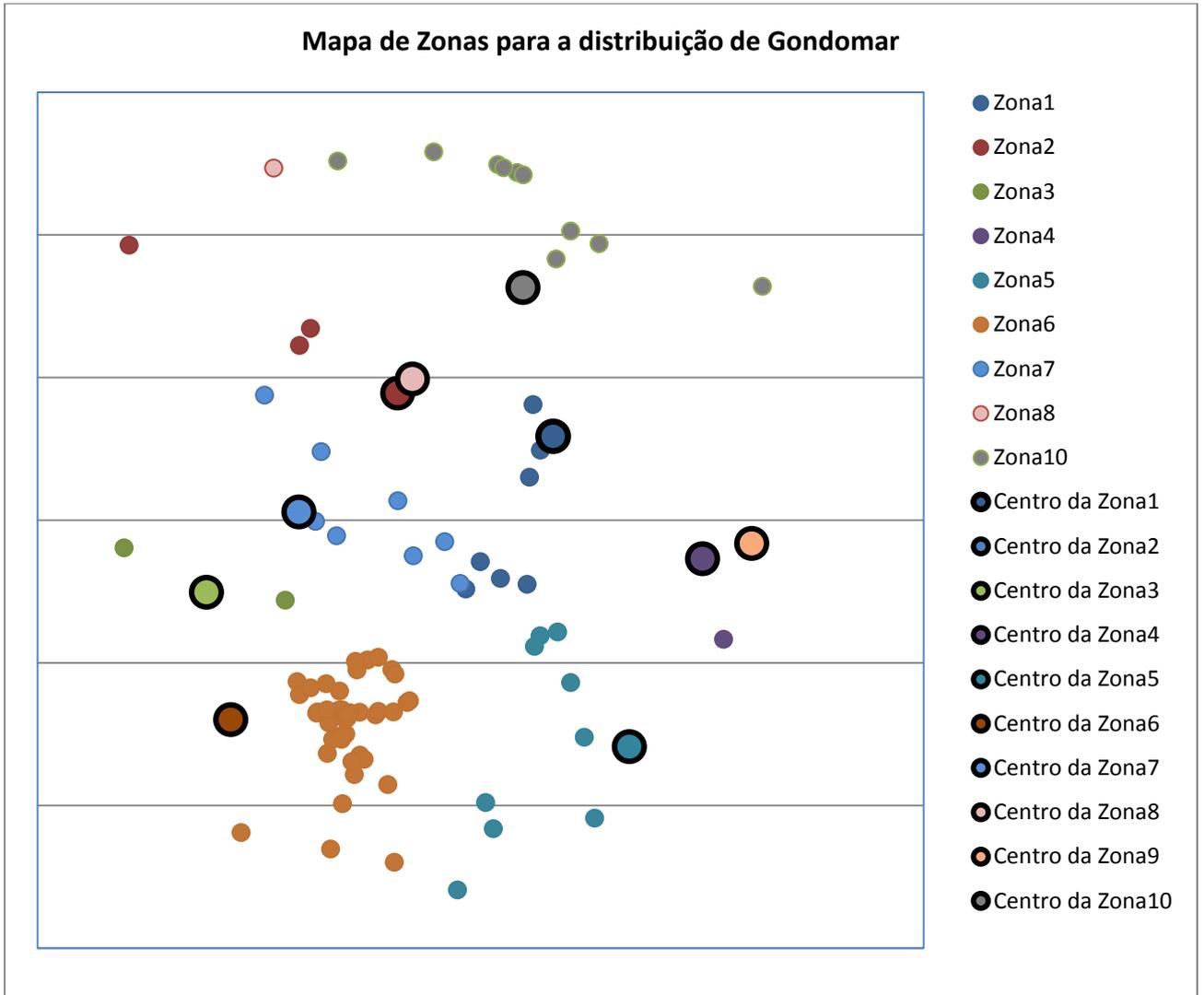


Figura 28- Mapa de zonas

ANEXO F: Estrutura Organizacional

Estrutura Societária e Organizacional

O Grupo Coopprofar - Medlog tem como sociedade-mãe a Coopprofar - Cooperativa dos Proprietários de Farmácia CRL, que detém a totalidade do capital social da Medlog SGPS SA. Por sua vez, esta gere as participações sociais detidas na globalidade em cinco empresas: Mercafar - Distribuição farmacêutica, SA; Dismed - Transporte de mercadorias SA; Medlog - Logística Farmacêutica, SA, LHS - Logistics Health Solutions SA e Farvision SA.

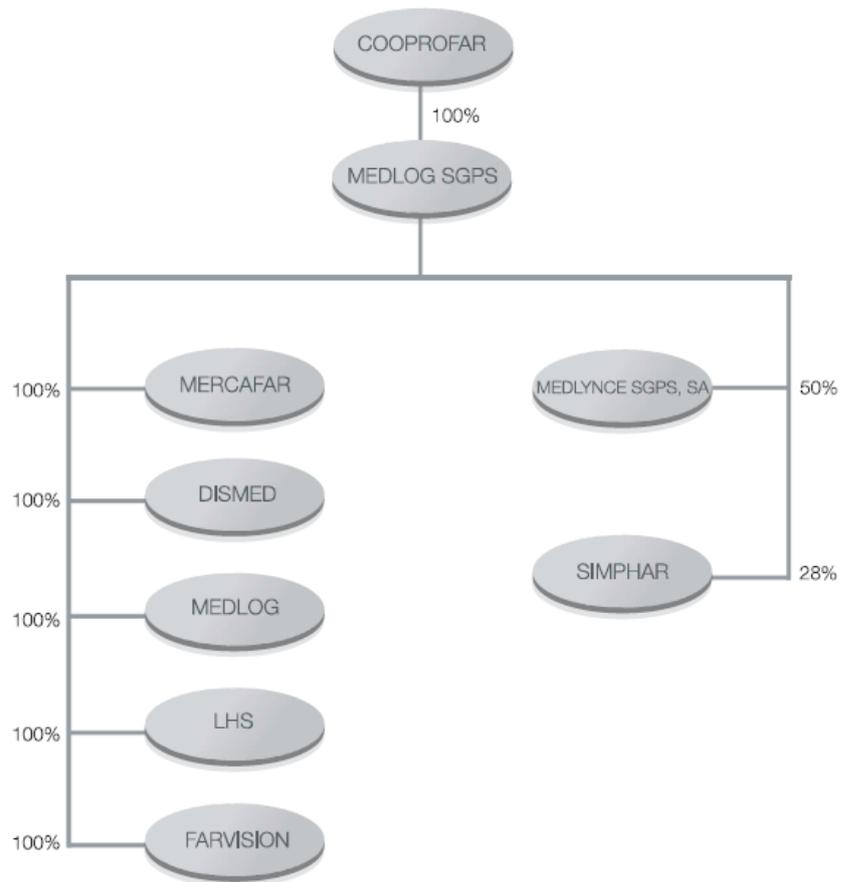


Figura 29 - Estrutura organizacional

Fonte: Medlog (2011)

ANEXO G: Marcos históricos

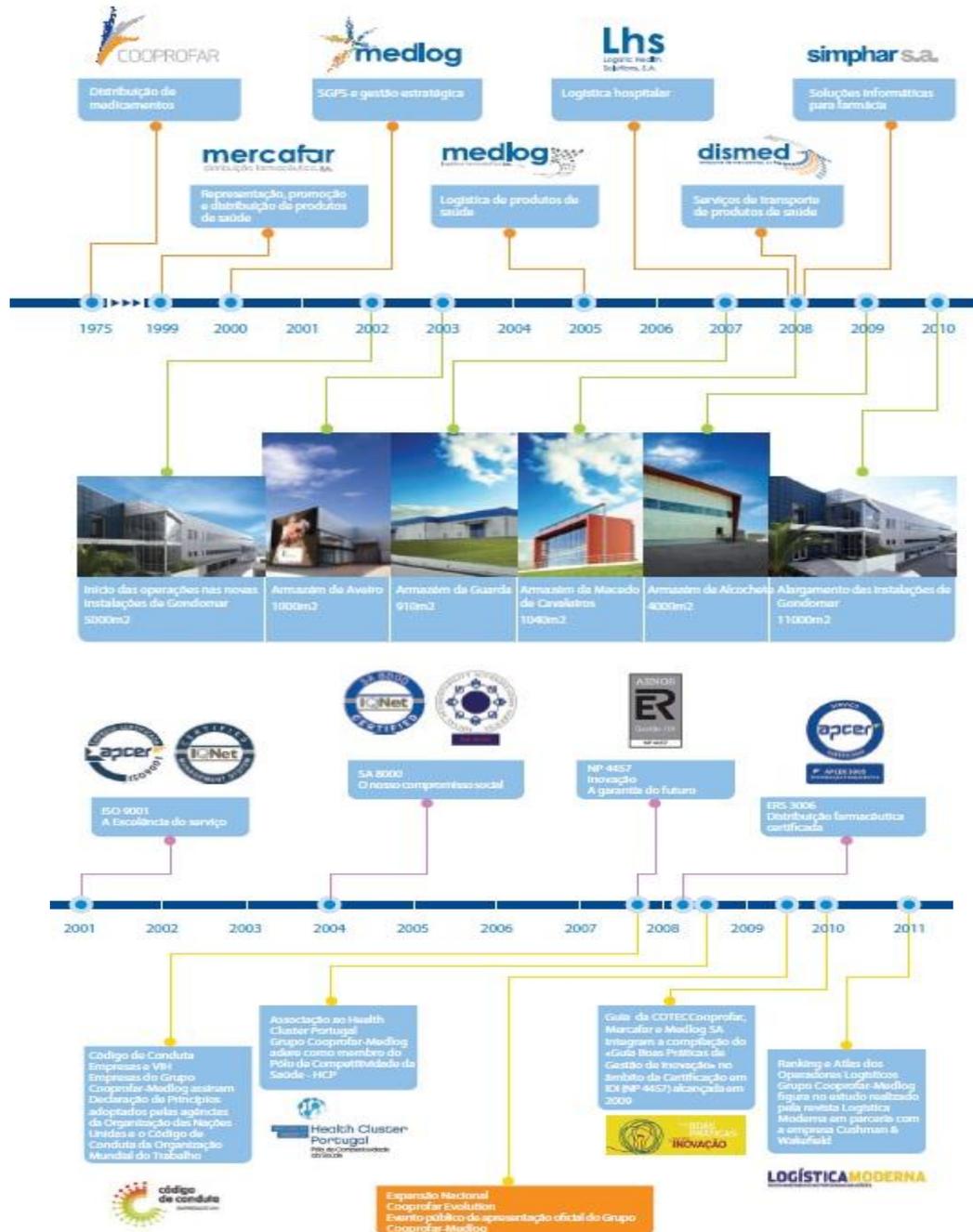


Figura 30 - Marcos históricos até 2011

Fonte: Medlog (2010)

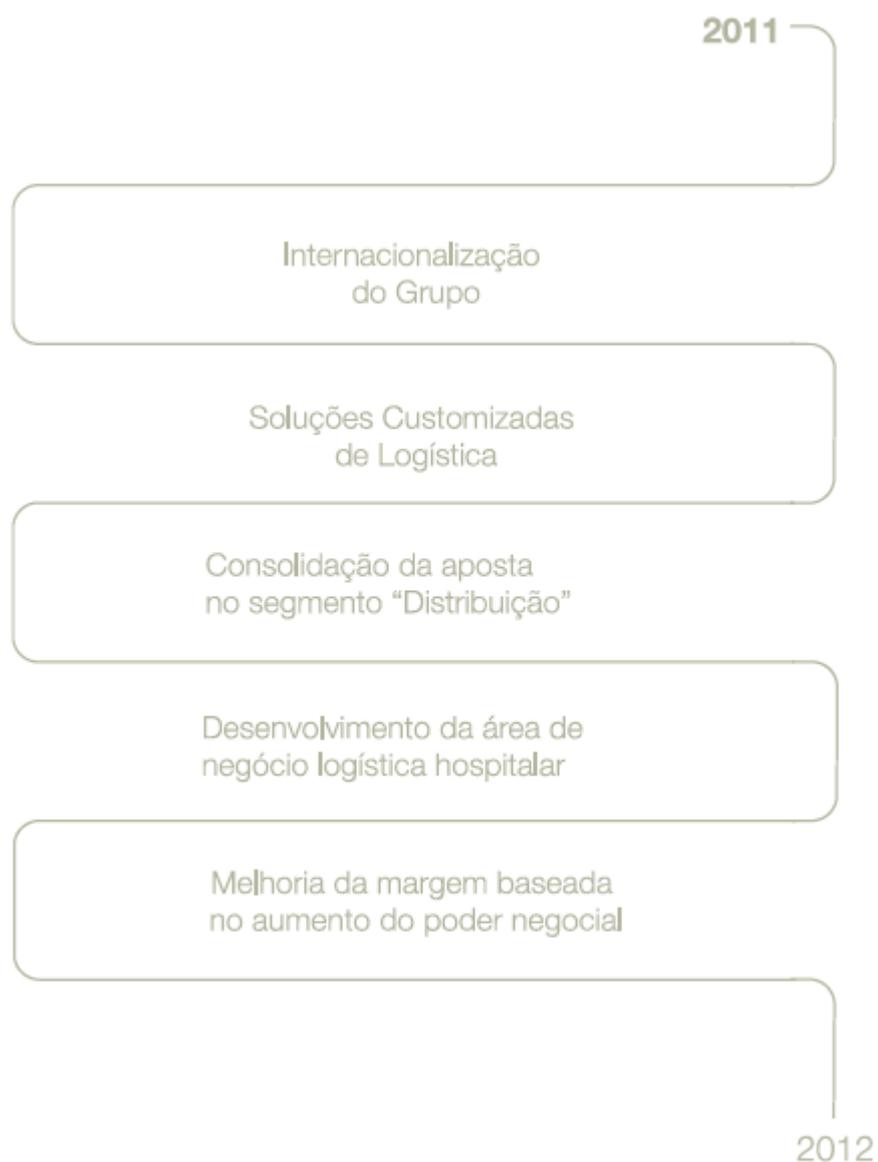


Figura 31 - Marcos históricos no ano de 2011

Fonte: Medlog (2011)

ANEXO H: Pseudo-código

```
Procedimento Greedy Randomized Construction ( $\alpha$ )
1   Solução  $\leftarrow \emptyset$ ;
2   Iniciar o conjunto de rotas candidatas:  $C_1 \leftarrow R$ ;
3   Avaliar a hora de partida  $s(r)$  para toda  $r \in C_1$ ;
4   Enquanto  $C_1 \neq \emptyset$ ; fazer;
5        $s^{\min} \leftarrow \text{Min} \{s(r) \mid r \in C_1\}$ ;
6        $s^{\max} \leftarrow \text{Max} \{s(r) \mid r \in C_1\}$ ;
7        $RCL \leftarrow \{r \in C_1 \mid s(r) \leq s^{\min} + \alpha(s^{\max} - s^{\min})\}$ ;
8       Selecionar uma rota  $r$  da RCL aleatoriamente;
9       Solução  $\leftarrow$  Solução  $\cup \{r\}$ ;
10      Atualizar o conjunto de rotas candidatas  $C_1$ ;
11      Reavaliar a horas de partida  $s(r)$  para toda  $r \in C_1$ ;
12  Fim;
13  Iniciar o conjunto pares Conductor/Veículo:  $C_2 \leftarrow P$ ;
14  Enquanto  $C_2 \neq \emptyset$ ; fazer
15      Selecionar um par  $p \in C_2$  aleatoriamente;
16      Solução  $\leftarrow$  Solução  $\cup \{p\}$ ;
17      Atualizar o conjunto de pares candidatos  $C_2$ ;
18  Fim;
19  Retornar Solução  $x$ ;
Finalizar Greedy Randomized Construction
```

Figura 32 – Pseudo-código do método de construção implementado

```
Procedimento Local Search (x)
1   x' ← x;
2   Escolher um movimento m ∈ M;
3   Até encontrar mínimo local;
4       Aplicar movimento m à solução x';
5       Se (f(x) ≥ f(x'));
6           x ← x';
7       Fim;
8   Retornar x
9   Fim
Finalizar Local Search
```

Figura 33 – Pseudo-código dos procedimentos da pesquisa local implementada

```
Procedimento GRASP ( $\alpha$ ,  $it_{max}$ )
1   a ← Big Number
2   Repetir  $it_{max}$  vezes;
3       x ← Greedy Randomized Construction ( $\alpha$ );
4       x ← LocalSearch(x);
5       Se  $f_{obj}(x) \leq a$ ;
6           x' ← x;
7           a ←  $f_{obj}(x)$ 
8       Fim
9   Fim
10  Chamar Acertos_Finais (x')
11  Retornar x'
Finalizar GRASP
```

Figura 34 – Pseudo-código para o procedimento GRASP

ANEXO I: Excertos de apresentação das empresas do grupo

Cooprofar C.R.L.

“A Cooprofar – Cooperativa dos Proprietários de Farmácia CRL, foi fundada em 1975 e dedica-se à comercialização de produtos farmacêuticos. Hoje, representa um dos elos fundamentais na cadeia do medicamento ao facultar às farmácias o acesso a mais de 15.000 referências. A Cooprofar tem conseguido afirmar uma posição cimeira no mercado e de marcada evolução com base em apostas fundamentais: excelência na distribuição, proximidade ao cliente e contínuo investimento em Tecnologia e Inovação.”

Mercafatar S.A.

“A Mercafatar – Distribuição Farmacêutica SA nasceu em 1999, e atua nas áreas da distribuição, promoção e representação de produtos de saúde. A seleção de parceiros internacionais com gamas líderes de mercado é a aposta da Mercafatar para ser representante exclusiva em Portugal de produtos de elevada qualidade, a preços justos, promovendo o benefício dos clientes. A promoção dos produtos é feita por uma equipa comercial de elevada qualificação e especializada em gestão de produto que garante a expansão das várias gamas a nível nacional e internacional.”

Medlog S.A.

“A Medlog – Logística Farmacêutica S.A. foi criada em 2008 e atua na área da logística de produtos de saúde. A Medlog assume-se como um operador logístico especializado na gestão das 5 plataformas logísticas do Grupo MEDLOG.”

Dismed S.A.

“A Dismed - Transporte de Mercadorias S.A. é uma empresa destinada à prestação de serviços de logística e transportes, sendo especializada na distribuição de produtos de saúde. Ao atuar nas áreas da Distribuição e Transporte, a Dismed prima por um serviço personalizado e inovador que lhe confere um papel de transportadora disponível, consistente, flexível, fiável e eficaz. Traçando um serviço à medida da cada cliente, a Dismed ocupa um lugar de referência no sector.”

LHS S.A.

“A Lhs - *Logistic Health Solutions* S.A. é uma empresa de perfil inovador vocacionada para a logística hospitalar. A LHS propõe-se a ser o parceiro ideal para uma gestão inovadora e eficiente. A missão é a racionalização da *supply chain* dos medicamentos e consumíveis hospitalares através da reestruturação de todo o circuito de abastecimento de medicamentos, dispositivos médicos e outros produtos de saúde com vista a melhorar a performance da logística de aprovisionamento do mercado hospitalar.”