



M 2014



# OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL NO SECTOR DA DISTRIBUIÇÃO EXPRESSO

**JOÃO FIDALGO MARTINS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA  
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM  
ENGENHARIA INDUSTRIAL E GESTÃO

# **OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL NO SECTOR DA DISTRIBUIÇÃO EXPRESSO**

*João Fidalgo Martins*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Bernardo Almada-Lobo



**FEUP**

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

2014-09-22

*À minha família.*

## Resumo

Nos dias que correm a redução de custos é uma das maiores preocupações das empresas dado o contexto económico vivido, sendo que a qualidade do produto ou serviço gerado tem de ser mantida ou melhorada de forma a garantir a retenção e aquisição de clientes. No sector da distribuição expresso o desenho de rotas é um fator crítico na gestão de custos, tendo também um impacto notório no nível de serviço prestado aos clientes.

A constante evolução e mudança do mercado e tecnologia exigem que as empresas se saibam adaptar às novas realidades e consigam prever o impacto e alterações internas necessárias de cada transformação.

O projeto abordado neste relatório tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão, que permita a otimização de rotas e a previsão a nível operacional da entrada de novos grandes clientes, num dos principais operadores do setor da distribuição expresso.

Esta ferramenta de apoio à decisão foi pensada para o suporte de decisões num nível tático e é baseada num modelo de simulação, construído no *software Arena* e num algoritmo *Tabu Search*, aplicado à resolução de um problema do tipo *Vehicle Routing problem*.

A diferença entre os problemas clássicos de otimização de rotas e o problema aqui apresentado, consiste na essência estocástica das variáveis número de clientes e localização dos mesmos.

A ferramenta de apoio à decisão foi aplicada na otimização das rotas de uma plataforma de uma empresa do sector da distribuição expresso, e na previsão de impacto a nível operacional da entrada de um grande cliente. Quanto à otimização de rotas, concluiu-se que é possível melhorar o desenho de rotas da plataforma em questão, sendo dada uma sugestão de possível novo desenho. Em relação à entrada do novo cliente, conclui-se que o impacto não é significativo o suficiente para que sejam necessárias alterações internas do ponto de vista das operações da empresa.

## Route optimization

### Abstract

Nowadays, cost reduction is one of companies biggest concerns given the current economical context. Nevertheless the quality of the generated product or service has to be maintained or improved to guaranty customer retention and acquisition. In the express delivery sector route design is a critical factor in cost management and has a notorious impact on the service level provided to costumers.

The constant evolution and changes in the market and technology demands that companies know how to adapt to new realities and are able to predict the impact and internal necessary alterations of each transformation.

The project discussed in this report has as the main objective the development of a decision support tool for route optimization and to make predictions of the impact on an operational level of new big customers entrance in one of the main operators in the express distribution sector.

This decision support tool was thought to support decisions on a tactical level and it is based on a simulation model constructed in *software Arena* and a Tabu Search algorithm applied to solve a Vehicle Routing Problem type.

The difference between classic optimization problems and the problem here presented is the stochastic essence of the variables number of clients and location of clients.

The tool was applied to the route optimization of one platform of a company in the express distribution sector and in the prediction of operational impact level in the entrance of a new big client. Regarding the route optimization it was concluded that it is possible to improve the route design of the platform and a new design suggestion was made. On the subject of the new client entrance it was concluded that its impact was not significant enough to justify internal alterations from the point of view of the company operations.

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer ao meu orientador na Rangel, Eng. Tiago Gonçalves, pelo apoio prestado.

Ao meu orientador da FEUP, Prof. Bernardo Almada-Lobo, por me guiar ao longo da dissertação com o seu conhecimento extenso da matéria e disponibilidade constante.

À Mariana Magalhães, Luís Nunes, Pedro Antunes, João Castro, Edgar Monteiro e a todas as pessoas que me ajudaram direta ou indiretamente dentro da Rangel.

À Rita, ao Rui, à Catarina e ao João, pelos bons anos passados que deixaram memórias para a vida.

À Marta, pelo amor e carinho que sempre me deu.

Aos meus pais, irmão e família pela paciência e afeto.

## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
1.1	Apresentação da empresa Rangel Expresso, SA .....	1
1.2	O Projeto de otimização operacional na Rangel .....	1
1.3	Método seguido no projeto .....	2
1.4	Análise comparativa de abordagens existentes e das suas vantagens e inconvenientes .....	2
1.5	Estudo e desenvolvimento da ferramenta de apoio à decisão para previsão de entrada de novos grandes clientes e otimização de rotas .....	3
1.6	Temas abordados e sua organização no presente relatório .....	3
2	Estado da arte .....	4
2.1	Sector da distribuição de correio expresso .....	4
2.1.1	Descrição da atividade operacional de distribuição de correio expresso .....	4
2.1.2	Planeamento estratégico, tático e operacional .....	5
2.2	Software de otimização de rotas .....	6
2.2.1	Uso de software de otimização de rotas .....	6
2.2.2	Exemplo de um software de otimização de rotas .....	6
2.3	Algoritmos do tipo <i>Vehicle Routing Problem</i> .....	7
2.3.1	Variantes do VRP .....	7
2.3.2	Métodos de Resolução .....	8
2.3.3	<i>Vehicle Routing Problem</i> aplicado ao serviço de distribuição expresso .....	10
2.4	Simulação .....	13
2.4.1	<i>Arena</i> .....	14
3	Apresentação do projeto de otimização operacional .....	15
3.1	Divisão territorial .....	15
3.2	Tipos de Rotas .....	15
3.3	Serviços .....	15
3.4	Rotas .....	16
3.5	<i>Cut-off</i> .....	17
3.6	Remuneração dos motoristas .....	17
3.7	Veículos .....	18
3.8	Níveis de Serviço .....	18
3.9	Sistema de informação (SI) .....	19
3.10	Situação atual .....	21
4	Ferramenta de apoio à decisão para previsão de nível de serviço e otimização de rotas .....	23
4.1	Visão Geral .....	23
4.1.1	Aquisição de dados iniciais .....	25
4.2	Simulação .....	28
4.2.1	Parâmetros de velocidade e tempos .....	28
4.2.2	Módulos de <i>Arena</i> usados .....	28
4.2.3	Esquema geral .....	29
4.2.4	Input .....	29
4.2.5	Modelo de Simulação .....	31
4.2.6	OutPut .....	35
4.3	Algoritmo .....	38

4.3.1	Problema .....	38
4.3.2	Parâmetro de distribuição Normal .....	39
4.3.3	<i>Software</i> .....	39
4.3.4	Método usado .....	42
5	Resultados e discussão .....	43
5.1	Comparação Rotas atuais com Rotas geradas por algoritmo .....	43
5.2	Comparação Sem novo Cliente vs. Com novo Cliente .....	44
6	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.....	45
	Referências .....	46
ANEXO A:	Rotas atuais.....	48
ANEXO B:	Lista de CPs da plataforma do Porto com entrega até ao meio dia.....	51
ANEXO C:	Matriz de tempos de viagem entre CPs .....	52
ANEXO D:	Lista da área de cada CP da plataforma do Porto .....	53
ANEXO E:	Folha de Excel input da simulação.....	54
ANEXO F:	Modelo de simulação no <i>Arena</i> .....	56
ANEXO G:	Animação do modelo de simulação no <i>Arena</i> .....	57
ANEXO H:	Folha de Excel output da simulação.....	58
ANEXO I:	Rotas geradas por algoritmo .....	60

## **Siglas**

API - *Application Programming Interface*

CP - Código Postal

CPU - *Central Processing Unit*

CVRP - *Capacitated Vehicle Routing Problem*

DEX - *Delivery Exception*

DVRP - *Dynamic Vehicle Routing Problem*

Fedex - Rangel Expresso, SA

GCOM2+ - Sistema de informação do Grupo Rangel

GPS - *Global Positioning System*

GSP - *Global Service Participant*

OD - *Out for Delivery*

ORION - *On-Road Integrated Optimization and Navigation*

POD - *Proof of delivery*

Rangel - conjunto Rangel Expresso, Sa e Rangel Expresso II, SA

Rex II - Rangel Expresso II, SA

RWVRP - *Real world Vehicle Routing Problem*

SCAD - *Strategic Core Area Design*

SI - Sistema de informação

VBA - *Visual Basic Applications*

VRP - *Vehicle Routing Problem*

VRPTW - *Vehicle Routing Problem with time windows*

## Índice de Figuras

Figura 1 - Passos principais de uma entrega expresso internacional (fonte: adaptado de <i>The Economic Impact of Express Carriers in Europe 2011</i> ) .....	5
Figura 2 - Esquema do método <i>Tabu Search</i> .....	9
Figura 3 - Rotas atuais (Rotas a norte do depósito).....	21
Figura 4 - Metodologia da ferramenta de apoio à decisão .....	23
Figura 5 - Viagem entre CPs (exemplo 1).....	27
Figura 6 - Viagem entre CPs (exemplo 2).....	27
Figura 7 - Modelo de simulação .....	29
Figura 8 - Ordem de saída do módulo <i>Separate</i> .....	32
Figura 9 - Fluxograma do processo de uma Rota.....	33
Figura 10 - Impacto de V1 no valor de SL.....	37
Figura 11 - Impacto de V2 no valor de SL.....	37
Figura 12 - Impacto de V no valor de SL.....	38
Figura 13 - Impacto de S no valor de SL.....	38
Figura 14 - Esquema geral ferramenta de apoio à decisão .....	40
Figura 15 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas a norte do depósito).....	43
Figura 16 - Rotas atuais (Rotas ao centro do depósito).....	48
Figura 17 - Rotas atuais (Rotas a sul do depósito) .....	50
Figura 18 - Dados de Input (Ficheiro <i>InputSimulação</i> ).....	54
Figura 19 - Lista de Rotas (Ficheiro <i>InputSimulação</i> ) .....	54
Figura 20 - Dados CPs (Ficheiro <i>Input Simulação</i> ) .....	55
Figura 22 - Detalhe gerar stops e detalhe atribuir os stops a cada rota do modelo de simulação .....	56
Figura 23 - Detalhe processar stops.....	56
Figura 24 - Animação do modelo de simulação .....	57
Figura 25 - Resultado Simulação (Folha "Resultados Réplicas" do ficheiro <i>Output</i> da simulação).....	58
Figura 26 - Resultado da Réplica 1 (Folha "Resultados Réplicas" do ficheiro <i>Output</i> da simulação).....	59
Figura 27 - Resultado Global da Simulação (Folha "Resultados Global" do ficheiro <i>Output</i> da simulação).....	59
Figura 28 - Lista das Rotas que Falharam (Folha "Resultados Global" do ficheiro <i>Output</i> da simulação).....	59

Figura 29 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas ao centro do depósito) ..... 60  
 Figura 30 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas ao centro e a sul do depósito)..... 61  
 Figura 31 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas a sul do depósito) ..... 62

**Índice de Tabelas**

Tabela 1 - Rotas atuais(Rotas a norte do depósito) ..... 22  
 Tabela 2 - Módulos usados no modelo *Arena* ..... 28  
 Tabela 3 - Exemplo de Lista de número de ordem dentro da rota..... 30  
 Tabela 4 - Paramêtros de velocidades e tempo..... 37  
 Tabela 5 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas a norte do depósito) ..... 44  
 Tabela 6 - Comparação solução atual vs gerada por algoritmo..... 44  
 Tabela 7 - Rotas atuais (Rotas ao centro do depósito) ..... 49  
 Tabela 8 - Rotas atuais (Rotas a sul do depósito)..... 50  
 Tabela 9 - Lista de CPs da plataforma do Porto com entrega até ao meio dia ..... 51  
 Tabela 10 - Matriz de tempos de viagem entre CPs ..... 52  
 Tabela 11 - Lista da área de cada CP da plataforma do Porto..... 53  
 Tabela 12 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas ao centro do depósito)..... 60  
 Tabela 13 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas ao centro e a sul do depósito) ..... 61  
 Tabela 14 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas a sul do depósito) ..... 62

## 1 Introdução

### 1.1 Apresentação da empresa Rangel Expresso, SA

A empresa Rangel Expresso, SA pertence ao Grupo Rangel, foi fundada em 1999 e tem como principal objetivo a distribuição de correio expresso internacional, atuando como GSP (*Global Service Participant*) único da Fedex em Portugal. A empresa Rangel Expresso II, SA, é outra empresa pertencente ao mesmo grupo, constituída em 2008 com o objetivo de lidar com a distribuição de correio expresso nacional.

As duas empresas estão separadas do ponto de vista legal e financeiro mas partilham muitos dos recursos físicos e humanos, atuando como uma única unidade em muitos aspetos do quotidiano e de gestão, tais como, controlo operacional, distribuição, documentação e direção. A empresa Rangel Expresso, SA, apresenta no entanto, um conjunto de particularidades características da distribuição internacional:

- Existência de um departamento aduaneiro;
- Existência de operações de importação/exportação.

Assim, ao nível operacional os mesmos veículos transportam carga das duas empresas embora existam diferenças no serviço oferecido. O projeto desenvolvido tem enfoque ao nível operacional, incidindo portanto, no conjunto Rangel Expresso, SA e Rangel Expresso II, SA (doravante denominado Rangel). A Rangel Expresso, SA será designada por Fedex e a Rangel Expresso II por REX II.

A Rangel possui 10 plataformas ao longo do país com cerca de 220 viaturas (frota própria e subcontratada), embora o número de viaturas subcontratadas possa variar de dia para dia, consoante a procura de serviço existente. Estes números excluem o serviço SOS. Este projeto incidirá sobre a plataforma do Porto, a qual conta com uma frota de 76 veículos (própria e subcontratada).

Diariamente a nível nacional a REX II movimenta cerca de 13 mil volumes e a Fedex cerca de 2 mil volumes. Na plataforma do Porto, são movimentados diariamente uma média de 3200 e 750 volumes, respetivamente na REX II e na Fedex.

A Rangel usa um sistema de informação chamado GCOM2+ que contém informação dos vários departamentos da empresa, informação essa que pode ser extraída sob a forma de relatórios.

Numa fase inicial, este projeto foi alocado ao departamento de Planeamento e Engenharia, sendo posteriormente realocado no departamento de Operações. O departamento de Planeamento e Engenharia tem como objetivos a monitorização dos níveis de serviço, a identificação de melhorias a aplicar e o estudo e desenvolvimento de projetos na empresa. O departamento de Operações tem como missão controlar as operações diárias de entrega e recolha de volumes, bem como a criação, extinção, junção e melhoria de rotas e criação de regras de despacho diárias.

### 1.2 O Projeto de otimização operacional na Rangel

Numa economia cada vez mais complexa e exigente, é função prioritária das empresas a redução de custos ao mais ínfimo detalhe, sendo o transporte e a logística uma das áreas mais controladas a nível de orçamentos. Torna-se atualmente uma questão de sobrevivência que a

Rangel apresente aos seus clientes preços competitivos, quando comparados com os da concorrência. Um dos fatores críticos que permite a redução de custos dentro da Rangel, que por sua vez leva à possibilidade de apresentar preços atrativos, é a existência de um desenho eficaz de rotas. Outro aspeto fundamental deste sector é a sua constante mudança e evolução. Todos os dias existem entregas e recolhas em clientes diferentes e, mesmo os clientes com um carácter mais fixo são alterados a médio/longo prazo.

O desenho de rotas é atualmente feito na Rangel com métodos empíricos, quer a nível tático quer operacional. O projeto tem como objetivo a criação de uma ferramenta de apoio à decisão que permita a otimização de rotas ao nível tático e a previsão do impacto operacional da entrada de novos grandes clientes. Por novos grandes clientes entende-se um cliente regular com um volume diário de entregas/recolhas elevado.

No âmbito de melhoramento do desenho das rotas, a ferramenta de apoio à decisão foi testada na plataforma do Porto, a qual é considerada pela Rangel como a plataforma mais evoluída ao nível de eficiência e custo das rotas.

No âmbito da previsão de entrada de novos clientes, a ferramenta de apoio à decisão foi testada com a Geodis, que se tornou um cliente regular da Rangel num passado próximo. Trata-se de uma multinacional com presença em mais de 120 países que foi fundada em 1995 e adquirida pelo grupo SNCF em 2009. O *core-business* da empresa é a distribuição de correio expresso e serviços de logística.

### **1.3 Método seguido no projeto**

O planeamento do projeto, tendo em vista uma melhor utilização do tempo previsto de duração, está dividido nas seguintes fases:

- Introdução à empresa;
- Revisão bibliográfica nas áreas de incidência do projeto;
- Aquisição de dados através do GCOM2+ e informação interna à empresa;
- Aquisição de dados geográficos através de ferramentas da Google;
- Criação de uma ferramenta de apoio à decisão dividida em duas secções;
  1. Criação de um modelo de simulação;
  2. Criação de um algoritmo;
- Análise e comparação de resultados obtidos.

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

O estudo de otimização de rotas é um problema clássico, ao qual tem sido dada muita relevância nas últimas décadas. Existem inúmeros algoritmos e métodos de resolução para este problema. No contexto da empresa a nível operacional, o problema pode ser definido como um *Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)*, ou seja, um problema de otimização de rotas em que a informação não é toda conhecida à priori, sendo necessário processar dados em tempo real. Tendo em conta a realidade da empresa a nível de telemática (comunicação à distância de um ou mais conjunto de serviços informáticos, fornecidos através de uma rede de telecomunicações), não é viável a aplicação de tais algoritmos devido à impossibilidade de aquisição dos dados necessários em tempo real. A impossibilidade da otimização de rotas na Rangel a nível operacional, através do uso de um algoritmo, já tinha sido concluída em Gonçalves (2010). Optou-se então por uma abordagem ao nível tático, onde é possível

agrupar as variáveis estocásticas em distribuições normais e, construir rotas baseadas em conjuntos de localidades, que servem como linha-mestre, para a construção do percurso específico de cada motorista no dia-a-dia.

O algoritmo desenvolvido neste projeto é fundamentado, quer a nível de raciocínio, quer de aproximações matemáticas, no algoritmo definido por Kasemsontitum (2006), com o objetivo de otimização de rotas a nível tático e operacional, aplicado à indústria do correio expresso. Este algoritmo é considerado em termos de literatura, como o mais recente avanço teórico na resolução do problema proposto. Quanto ao método usado para resolução do algoritmo existem duas possibilidades, métodos exatos e métodos aproximados. Devido à complexidade do problema foi usado um método aproximado. De entre os métodos aproximados existem várias hipóteses, incluindo o Algoritmo Savings, o Simulated Annealing e o Tabu Search. Optou-se pelo *Tabu Search*, pela sua eficácia e popularidade, mas qualquer um dos outros métodos se apresenta como uma alternativa válida.

Para lidar com a vertente estocástica do problema foi usada simulação. Atualmente, o *software Arena* apresenta-se como um dos mais prestigiados no mercado de *software* de simulação e um dos mais usados no ensino académico. Existem várias alternativas, sendo os *software* de simulação comerciais mais populares, o *Simul8*, o *Witness*, o *ProModel* e o *ExtendSim* segundo Dias et al. (2011).

### **1.5 Estudo e desenvolvimento da ferramenta de apoio à decisão para previsão de entrada de novos grandes clientes e otimização de rotas**

Foi desenvolvida uma ferramenta de apoio à decisão, para previsão de entrada de novos grandes clientes e otimização de rotas na Rangel. A ferramenta é baseada num modelo de simulação e num algoritmo, que interagem de forma iterativa de modo a obter uma solução cada vez mais aperfeiçoada.

O trabalho realizado não tem como objetivo único, a proposta de melhoria do desenho das rotas atuais da plataforma do Porto e estudo de impacto operacional da entrada da Geodis, mas sim, a criação de uma ferramenta de apoio à decisão, muito mais abrangente que seja usada de futuro como apoio à otimização das rotas de todas as plataformas a nível nacional. A ferramenta também permitirá estudar cenários *What if* como por exemplo, a entrada de novos clientes ou o aumento da procura em x% nos próximos anos.

### **1.6 Temas abordados e sua organização no presente relatório**

Este relatório é dividido em seis capítulos. No capítulo um, é feita a introdução à empresa e ao projeto desenvolvido. No capítulo dois, é apresentado o estado de arte do sector de distribuição expresso, da simulação e de algoritmos apropriados para a resolução do problema proposto. No capítulo três, é apresentado o problema em maior detalhe, com enfoque no modo de funcionamento da empresa e nas soluções existentes atualmente. No capítulo quatro, é apresentada a ferramenta de apoio à decisão criada. Depois de uma introdução global, este capítulo está dividido em duas grandes partes, o modelo de simulação e o algoritmo. No capítulo cinco, são apresentados e discutidos os resultados gerados pela ferramenta de apoio à decisão. Por fim, no capítulo seis são tiradas conclusões e apresentadas ideias de desenvolvimentos futuros.

## 2 Estado da arte

### 2.1 Sector da distribuição de correio expresso

Nos últimos anos, tem-se assistido a um grande desenvolvimento do sector da distribuição de correio expresso. Segundo (*The Economic Impact of Express Carriers in Europe 2011*) as principais empresas no mercado europeu são as americanas Fedex e UPS, a alemã DHL e a holandesa TNT que detêm no total 41% da cota de mercado (dados de 2010). O sector da distribuição de correio expresso, contribui com 10,3 biliões de euros para o PIB da União Europeia e emprega diretamente 272 mil pessoas. Em Portugal existem 345 empresas neste sector (no ano de 2012), que geram um volume de negócio de 565 milhões de euros, segundo (*Estudio Sectores Portugal de DBK Mensajería y Paquetería 2013*).

#### 2.1.1 Descrição da atividade operacional de distribuição de correio expresso

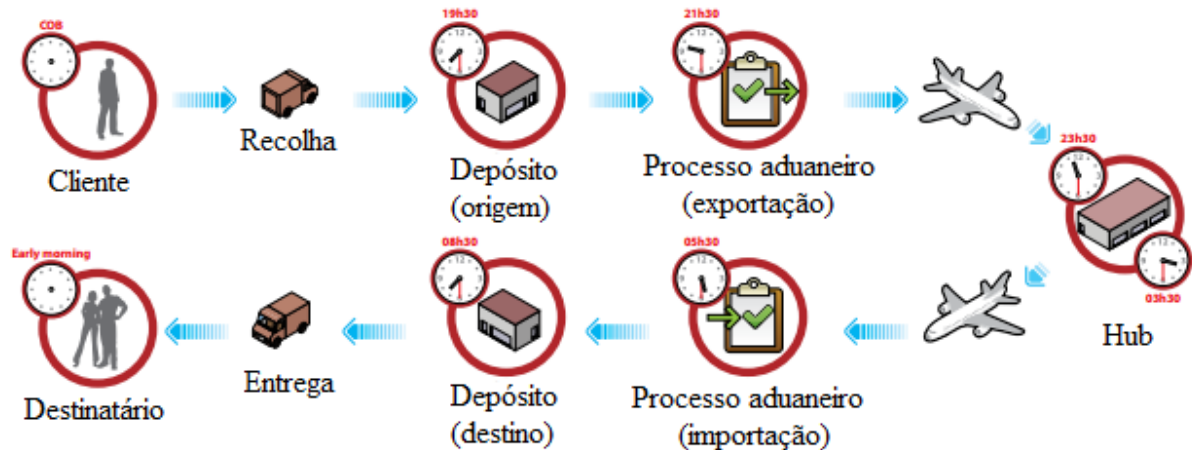
Nesta secção serão analisados os procedimentos, a nível de operações do correio expresso nacional e do correio expresso internacional.

##### 2.1.1.1 Nacional

O serviço de correio expresso nacional, inicia-se com a recolha efetuada geralmente em carrinhas. Os volumes recolhidos de vários clientes, são agrupados num armazém local (depósito). No depósito, os volumes são ordenados e consolidados por local de destino. Cada volume, é posteriormente enviado para o depósito ao qual pertence o seu local de destino. Este processo efetua-se em horário noturno com camiões TIR, e as rotas de transporte de carga entre depósitos são chamadas de arrasto ou *linehauls*. Depois da carga chegar ao depósito de destino, é colocada dentro das carrinhas de acordo com as regras de despacho existentes, seguindo-se o processo de entrega. As rotas de arrasto são pré-planeadas e fixas, enquanto que, as rotas de recolha/entrega são diferentes todos os dias e organizadas regra geral pelos próprios condutores.

##### 2.1.1.2 Internacional

A nível local o processo é idêntico ao nacional, mas estende-se para além deste. Depois de recolhidos os volumes, estes são transportados por avião (de Portugal saem diariamente um avião do Porto e outro de Lisboa) para um *Hub*, que é um ponto de passagem obrigatório de qualquer mercadoria, onde são ordenados e consolidados os volumes provenientes dos vários países pertencentes à zona desse *Hub*. Na Europa, África e Médio Oriente é no *Hub* de *Charles de Gaulle* que é organizada a mercadoria. Os volumes são depois enviados para o país de destino, passando pelo *Hub* da zona à qual pertence esse o país, caso seja diferente. Chegando ao país de destino, o processo é mais uma vez idêntico ao nacional. É necessário ter em conta que, existem processos aduaneiros a ser cumpridos na importação e exportação de mercadorias. A Figura 1 representa um esquema deste processo.



**Figura 1 - Passos principais de uma entrega expresso internacional (fonte: adaptado de *The Economic Impact of Express Carriers in Europe 2011*)**

### 2.1.2 Planeamento estratégico, tático e operacional

O planeamento de transporte de carga pode ser dividido segundo Crainic (1987), dependendo do horizonte temporal nas fases seguintes:

- Estratégico;
- Tático;
- Operacional.

O nível estratégico, engloba um horizonte temporal de longo prazo (1 a 10 anos) e dá relevo às políticas da empresa. Dentro deste planeamento incluem-se:

- Nível de investimento;
- *Design* do *newtwork* físico e melhorias;
- Localização dos depósitos;
- Decisões alargadas de rotas e serviços;
- Tamanho da frota;
- Nível de subcontratação e frota própria;
- Política de preços.

As decisões do nível estratégico, têm influência no número de plataformas existentes e na definição da área que essas plataformas englobam. Este tipo de decisões requer um investimento elevado, e é considerado como um dado fixo no curto e médio prazo. Existe também um impacto no nível de procura de serviço afetado pela política de preços.

O nível tático, engloba um horizonte temporal de médio prazo (até 1 ano) e pretende alocar de forma racional os recursos existentes considerados fixos neste prazo temporal, de forma a melhorar a desempenho global do sistema. Dentro deste planeamento incluem-se:

- *Design* de *network* e definição de características de cada tipo de serviço de transporte;
- Classificação de veículos e políticas de formação;
- Escolha de rotas.

O âmbito desta dissertação incide sobre o nível tático, mais precisamente sobre a definição e seleção de rotas.

O nível operacional, enquadra-se nas decisões do dia-a-dia e engloba as seguintes tarefas:

- Planeamento dos horários de rotas dos veículos de entregas e recolhas;

- Planeamento de horários de trabalhadores;
- Regras de despacho.

Este planeamento é feito diariamente e ajustado ao longo do dia, com medição de resultados em tempo real (atraso das rotas, entre outros).

## 2.2 Software de otimização de rotas

Os *software* de otimização de rotas, são uma peça fundamental no sector da distribuição expresso. A seguir são referidos os principais avanços nessa área e um exemplo de um *software* usado pela UPS.

### 2.2.1 Uso de *software* de otimização de rotas

O questionário sobre *software* de otimização de rotas Janicee Hall (2012), teve a participação de 12 empresas de venda de *software* de otimização de rotas (8 americanas e 4 europeias). As principais conclusões do inquérito são apresentadas de seguida.

Atualmente a principal plataforma usada para este tipo de *software* é o *windows*, sendo que os vendedores recomendam um computador com um CPU que trabalhe a uma frequência entre 1 a 3 GHz, uma memória até 4Gb e um disco rígido com memória até 125 Gb. Estes valores não se alteraram no últimos quatro anos. Na prática, qualquer computador vulgar que se encontre atualmente no mercado consegue correr este tipo de *software*.

Os algoritmos usados são tipicamente proprietários e usam uma combinação de programação inteira e heurísticas. O tempo de computação de um problema típico (50 rotas, 1000 *Stops* e janelas temporais rígidas de 2h), é de cerca de 5 minutos e não evoluiu nos últimos dois anos.

O preço de uma licença única com limite até 50 rotas, varia entre os 20 mil a 40 mil dólares, dependendo das funções, características e grau de personalização desejado. A integração completa do *software* no sistema de informação da frota da empresa, requer consultoria que tem um custo entre 100 a 250 dólares/hora.

### 2.2.2 Exemplo de um *software* de otimização de rotas

Na América do Norte a UPS está a desenvolver um *software* chamado *ORION (On-Road Integrated Optimization and Navigation)*, que otimiza rotas de uma maneira eficiente permitindo poupar milhares de dólares em combustível. Segundo Konrad (2013) o *software* que está planeado ser usado no seu máximo potencial pelo ano de 2017, baseia-se em tecnologia telemática, análise de data sobre os pacotes a ser distribuídos, preferências do utilizador e rotas, e inclui uma base de dados com mais de 250 milhões de endereços. Este *software* usa dados de mapas e do histórico dos GPS, para encontrar rotas similares, reduzindo o tempo de resposta do algoritmo. Para decidir qual o melhor caminho de cada rota, entre as cerca de 200,000 maneiras possíveis em média de percorrer todos os clientes da rota, o *ORION* tem um código com o tamanho equivalente a 1000 páginas.

A UPS gasta anualmente mil milhões de dólares em tecnologia e embora não existam dados concretos de quanto custa este projeto, é considerado pela UPS como um projeto de tamanho relevante dentro do orçamento anual para tecnologia da empresa. O projeto está a ser desenvolvido por um grupo de 500 trabalhadores.

Este *software* facilita a escolha do cliente quanto ao horário de entrega/recolha, reduzindo a janela de incerteza temporal, sendo por isso considerado como uma vantagem competitiva pela empresa.

Na fase de teste do *software* entre 2010 e 2012, a empresa conseguiu uma poupança de 11,3 milhões de litros de combustível, estando prevista uma poupança de 50 milhões de dólares anuais, quando o *software* estiver a ser usado por todos os motoristas da empresa, partindo da premissa que é possível reduzir 1,6 km na rota diária de cada condutor. A nível ambiental, no ano de 2013 a UPS reduziu a emissão de dióxido carbono em 14,000 toneladas métricas graças a este *software*.

Os passos seguintes de melhoria do *ORION*, passam pela incorporação de dados em tempo real, tal como condições atmosféricas e tráfico que influenciam a velocidade de cada rota.

Existem no entanto questões sociais relevantes, tais como, o sentimento de inutilidade gerado nos condutores da empresa que consideram estar a ser substituídos por um computador que consegue criar melhores rotas do que eles próprios, sendo que muitos deles têm vários anos de experiência de condução na mesma rota. A UPS garante no entanto, que os condutores têm um papel fundamental nos *inputs* do *software* e que não serão substituídos pelo *ORION* na criação de rotas.

### 2.3 Algoritmos do tipo *Vehicle Routing Problem*

O *Vehicle Routing Problem* (VRP) é um problema de otimização combinatória e programação inteira, introduzido na sua forma mais básica por Dantzig Ramser (1959), num artigo intitulado "The Truck Dispatching Problem", publicado na revista científica *Management Science*, que desde então tem gerado grande atenção e desenvolvimento com inúmeras variantes e métodos de solução.

O Problema pode ser definido da seguinte forma:

"The vehicle routing problem (VRP) is a problem of designing optimal routes of collection or delivery from one or several depots to a number of geographically dispersed customers." (Wang 2012)

#### 2.3.1 Variantes do VRP

As várias variantes do VRP serão descritas de seguida.

##### *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*

Nesta variante é incluída a restrição de que, cada veículo tem uma capacidade máxima de carga que pode transportar, sendo que, a soma da carga total de cada rota não pode ultrapassar a capacidade de carga máxima do veículo referente a essa rota.

##### *Vehicle Routing Problem with time Windows (VRPTW)*

Esta variante inclui a restrição de que, em cada cliente só podem ser feitas entregas numa dada janela horária, definida por um tempo inicial e final que podem ser diferentes para cada cliente. No caso de um veículo chegar a um cliente antes do tempo inicial, terá que esperar até essa altura para poder efetuar a entrega. É adicionado aos tempos de viagem o tempo de efetuar cada entrega, ou seja não se considera a entrega de carga num cliente como um ato instantâneo, Toth e Vigo (2002)

### ***Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)***

Nesta variante nem toda a informação é conhecida à priori, as entregas estão definidas antes do veículo iniciar o percurso, mas a informação sobre as recolhas só vai sendo revelada com o passar do tempo. É necessário o reajuste das rotas depois de iniciado o percurso e várias vezes de acordo com a informação adicionada, Bianchi (2000).

### **Real world Vehicle Routing Problem (RWVRP)**

Os problemas clássicos de VRP, calculam a distância entre o depósito e um cliente e entre um cliente e outro numa geometria euclidiana. Nesta variante as distâncias são calculadas a partir de mapas com base no percurso percorrido em estrada. Este tipo de problema necessita de uma matriz assimétrica de distâncias, já que o caminho percorrido entre o ponto A e o ponto B, não é necessariamente igual ao caminho percorrido entre B e A. Podem fazer-se cálculos baseados na velocidade média de cada zona e no tráfego existente. Para uma pesquisa mais detalhada sobre este tema pode consultar-se Carić et al. (2008).

### **2.3.2 Métodos de Resolução**

Há dois grandes tipos de métodos de resolução: os exatos e os aproximados.

Os métodos exatos de resolução, garantem a obtenção de uma solução ótima, mas têm um tempo de computação elevado e insustentável para problemas de tamanho grande. Um desses métodos é o *Branch and Bound* que foi criado em 1960 por Land e Doing. Nesta técnica, o problema inicial é dividido (*branch*) em dois sub-problemas com espaços de soluções diferentes. Cada um destes espaços pode ser novamente dividido (*branch*) em dois, caso seja necessário e assim por diante. Para evitar divisões desnecessárias, é calculado em cada sub-problema um limite inferior e superior (*bound*) do valor da solução ótima.

Por sua vez os métodos de resolução aproximados, não garantem uma solução ótima mas tem por objetivo criar um boa solução (perto da ótima), consumindo menos recursos computacionais e num tempo exequível. Os métodos aproximados dividem-se em duas partes, as heurísticas construtivas (constroem uma solução inicial válida) e as heurísticas de melhoria (melhoram a solução inicial).

A pesquisa local está incluída nas heurísticas de melhoria, este método parte de uma solução inicial e procura soluções válidas na sua vizinhança, através de movimentos locais num processo iterativo.

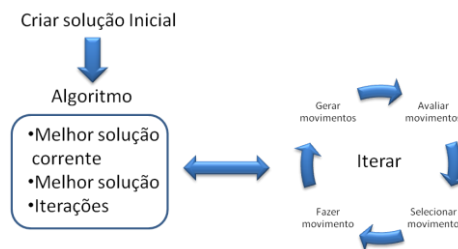
O algoritmo *Saving* criado por Clark e Wright em 1964, é uma heurística que tem por base o cálculo da redução de distância total percorrida (*saving*), ao juntar duas rotas inicialmente separadas. Quanto maior for o *saving* conseguido, mais atrativa é a junção de rotas.

O *Simulated Annealing*, é um método de relaxamento estocástico inspirado na termodinâmica. O método começa numa solução inicial e avança para soluções na vizinhança. São aceites todas as soluções da vizinhança melhores que a solução inicial e, com uma certa probabilidade soluções piores que a solução inicial. A probabilidade de ser aceite uma solução pior que a inicial vai diminuindo ao longo do tempo (uma metáfora para o arrefecimento de temperatura num processo termodinâmico), o que causa a convergência da solução para um mínimo local.

### 2.3.2.1.1 *Tabu Search*

O *Tabu Search* é uma meta heurística introduzida em 1986 por Glover, que evita que os métodos de pesquisa local fiquem presos na armadilha dos mínimos locais. O princípio básico da *Tabu search* é permitir movimentos que não melhorem a função objetivo de modo a escapar aos mínimos locais. Para evitar ciclos de movimentos que revisitem soluções já exploradas é usada uma lista Tabu, que não é mais do que uma lista de movimentos proibidos.

A Figura 2 dá uma visão geral do método.



**Figura 2 - Esquema do método *Tabu Search***

Aqui são dadas algumas definições necessárias para compreender o *Tabu Search*.

**Espaço de Procura** - Conjunto de todas as soluções possíveis do problema.

**Estrutura de vizinhança** - Vizinhança de soluções de uma solução, ou seja, o conjunto de soluções para as quais se pode passar, partindo de uma solução base usando apenas um movimento.

**Tabus** - Restrições usadas para impedir a movimentação cíclica.

**Lista Tabu** - Lista que contém o conjunto de Tabus. Esta lista pode ter um comprimento fixo ou variável.

**Critério de aspiração** - Existem casos em que os Tabus são poderosos de mais, impedindo movimentos que poderiam ser úteis para encontrar o mínimo global. Nesse caso, são usados critérios de aspiração que permitem que seja gerado o movimento, mesmo que este conste na lista Tabu.

**Critério de paragem** - Define quando terminam as iterações da heurística.

A seguir é feita uma descrição do *Tabu Search* segundo Burkee Kendall (2005). Esta descrição é básica, sendo que existem elementos e técnicas mais complexas que podem ser adicionados à heurística para a melhorar.

#### Notação:

$S$  - A melhor solução corrente

$S^*$  - A melhor solução conhecida

$f^*$  - Valor da função objetivo de  $S^*$

$N(S)$  - Vizinhança de  $S$

$\tilde{N}(S)$  - Subconjunto admissível de  $N(S)$ , ou seja, o conjunto de soluções pertencentes à vizinhança de  $S$  que não estão na lista Tabu ou são permitidos pelo critério de aspiração

$T$  - Lista Tabu

De seguida é apresentado o pseudocódigo do algoritmo *Tabu Search*:

**Inicializar:**

Escolher uma heurística construtiva e criar um solução inicial  $S_0$

Definir  $S=S_0, f^* = f(S_0), S^* = S_0, T = \emptyset$

**Procurar:**

Enquanto o critério de paragem não for satisfeito fazer:

Selecionar  $S$  em ArgumentoMínimo [ $f(S')$ ] com  $S' \in \tilde{N}(S)$

onde *ArgumentoMínimo* retorna o subconjunto de soluções em  $\tilde{N}(S)$  que minimiza  $f$

Se  $f(S) < f^*$  então definir  $f^* = f(S), S^* = S$ ;

Gravar em  $T$  o movimento usado (eliminar o movimento mais antigo se necessário)

Terminar Enquanto

### **Tabu Search probabilístico**

Avaliar a função objetivo de toda a vizinhança de uma solução pode consumir muito tempo e recursos computacionais. Uma alternativa é avaliar apenas algumas das soluções pertencentes a  $N(S)$ , definidas por algum critério de escolha aleatória. Esta solução permite resultados em menos tempo, quando comparada com a heurística Tabu não probabilística. A solução final obtida pode variar e não ser tão boa quanto a heurística Tabu não probabilística.

### **2.3.3 Vehicle Routing Problem aplicado ao serviço de distribuição expresso**

No serviço de correio expresso a familiaridade do condutor com a zona onde conduz é muito relevante, pois tem um impacto direto no tempo médio de entrega ou recolha, por parte do motorista devido aos seguintes fatores:

- Menor necessidade de consultar o mapa ou GPS e menos erros cometidos devido a interpretação incorreta do mapa ou GPS;
- Conhecimento do tráfego em horários específicos;
- Menos tempo perdido a encontrar o edifício da empresa do cliente e a pessoa ou departamento específico dentro dessa empresa. Conhecimento de horários de funcionamento de clientes;
- Melhor organização da ordem das paragens na viagem;
- Melhor ordenação dos volumes dentro do veículo no carregamento do mesmo, para evitar perda de tempo ao retirar as encomendas.

Para além destes fatores, é possível criar um atendimento personalizado aos clientes regulares. É por isso prática comum nas empresas de distribuição expresso, tentar manter os mesmos motoristas nas mesmas zonas, apenas alterando em caso de falta de algum motorista ou outro caso particular.

O VRP clássico aplicado ao serviço de distribuição expresso, tem a desvantagem de não ter em conta a familiaridade do condutor com a rota definida, ou seja, como a procura e localização de clientes é estocástica, é necessário criar novas rotas todos os dias e o algoritmo não tem como objetivo criar nos motoristas uma familiarização da zona onde conduz a longo prazo, preocupando-se apenas com a otimização da rota no dia-a-dia.

Tendo em conta esta necessidade, Zhong criou um algoritmo para planeamento de território e criação de regras de despacho no serviço de distribuição expresso, Zhong (2001). Boontariga Kasemsontitum melhorou o algoritmo de Zhong incluindo janelas temporais, ou seja, um VRPTW com procura e localização de clientes estocástica e aprendizagem de condutores, Kasemsontitum (2006).

O algoritmo introduz o conceito de, *célula*, *área principal* e *zona flexível*.

**Célula** - A unidade de território mais pequena possível cuja carga de trabalho é entregue a um único motorista. Na prática uma *célula* pode ser definida por exemplo através de um código postal.

**Área principal** - Um conjunto de *células*. Cada *área principal* deve ser visitada pelo mesmo motorista todos os dias.

**Zona flexível** - conjunto de *células* que não é atribuído a nenhuma *área principal*.

A ideia base do algoritmo é dividir o território onde estão os clientes em *células*, criar uma *área principal* para cada rota, e deixar algumas *células* livres (*zona flexível*). A familiaridade do condutor com a zona por onde passa a rota, é garantida pela criação da *área principal*. Para lidar com a estocacidade da procura, as *células* pertencentes à *zona flexível*, podem ser atribuídas diariamente a rotas diferentes, garantindo o balanceamento das rotas e a possibilidade de retirar ou acrescentar condutores de acordo com a procura. Existe portanto um *tradeoff* entre familiaridade e otimização de rotas.

### 2.3.3.1 Formulação de um VRP com procura e localização de clientes estocástica e aprendizagem de condutores

#### 2.3.3.1.1 Aproximação de tempo médio de uma entrega dentro de uma célula

Considere-se uma *célula*  $i$ . O tempo médio de entrega dentro da célula  $i$  é designado por  $T_i$  e inclui o tempo de descarregar a entrega e da viagem desde o ponto anterior até ao ponto de entrega - ver equação (1) e (2)

$$T_i = S_i + d(\bar{\rho}_i, C_{\bar{\rho}_i})/v_i \quad (1)$$

$$\bar{\rho}_i = n_i/a_i, \quad (2)$$

onde:

$S_i$  = Tempo médio para fazer uma entrega independentemente do número de km percorridos

$\bar{\rho}_i$  = Densidade espacial de pontos de entrega na *célula*  $i$

$C_{\bar{\rho}_i}$  = Coeficiente de variação de densidade de espacial de pontos de entrega na *célula*  $i$

$v_i$  = Velocidade média do veículo durante as entregas

$d(\bar{\rho}_i, C_{\bar{\rho}_i})$  = Distância média entre paragens, dado  $\bar{\rho}_i$  e  $C_{\bar{\rho}_i}$

$n_i$  = Número de paragens médio na *célula*  $i$

$a_i$  = Área da *célula*  $i$

Pressupondo  $C_{\bar{\rho}_i} = 0$ , pode-se fazer a seguinte aproximação:

$$d(\bar{\rho}_i, C_{\bar{\rho}_i}) = 0,72 / \sqrt{\bar{\rho}_i} \quad (3)$$

Assim, pode definir-se  $T_i$  como:

$$T_i = s_i + \frac{0,72\sqrt{a_i}}{v_i\sqrt{n_i}} \quad (4)$$

### 2.3.3.1.2 Distância entre células

Não é totalmente correto considerar a distância entre *células*  $i$  e  $j$ , como a distância entre o centroide da *célula*  $j$  para o centroide da  $i$ . Na verdade, dentro de uma *célula* existe normalmente mais que uma paragem, logo o motorista irá racionalmente escolher um percurso, em que a última paragem da *célula*  $i$  seja mais próximo da primeira paragem da *célula*  $j$  que a distância entre os centroides das duas *células*. Os resultados de um teste publicado em Zhong (2001) mostram que, em média, a distância entre os centroides das duas *células* é 15% superior à distância percorrida pelo motorista quando se desloca de uma *célula* para a outra. Uma possível forma de resolver este problema é apresentada na secção 4.1.1.

### 2.3.3.1.3 Método

O algoritmo criado por Kasemsontitum (2006) está dividido em duas partes:

- 1) Escolha estratégica/tática das *áreas principais* (SCAD - *Strategic Core Area Design*);
- 2) Criação de regras de despacho diárias.

Na primeira parte são escolhidas as *áreas principais* de cada rota, enquanto que na segunda são definidas rotas diárias.

#### 2.3.3.1.3.1 Escolha estratégica/tática das áreas principais (SCAD)

Esta fase do algoritmo reduz o tamanho do problema e cria a familiarização dos motoristas. Enquadra-se no nível tático de desenho de rotas, ou seja, é executada de tempo a tempo (não diariamente), consoante a estabilidade pretendida e mudanças existentes no mercado (procura média de serviço).

Cada *célula* é atribuída a uma *área principal*  $k$ , ou não é atribuída a nenhuma *área principal* (*zona flexível*). O custo de associar uma *célula*  $i$  a uma *área principal*  $k$  é definido como:

$$C_{ik} = d_{ik} + d_{i0} - d_{0k}, \quad (5)$$

onde:

$d_{ik}$  = Tempo de viagem da *célula*  $i$  para o centroide da *área principal*  $k$

$d_{i0}$  = Tempo de viagem da *célula*  $i$  para o depósito

$d_{0k}$  = Tempo de viagem do depósito para o centroide da *área principal*  $k$

De seguida é formulado o modelo SCAD

Sejam:

$I_{ik} = 1$  se a *célula*  $i$  é atribuída a *área principal*  $k$ , 0 caso contrário

$C_{ik}$  = Custo de atribuir a *célula*  $i$  a *área principal*  $k$

$T_i$  = Tempo médio para fazer uma entrega na *célula*  $i$

$Q_k$  = Tempo máximo de trabalho para o motorista  $k$

$\mu_i$  = Média de carga na *célula*  $i$

$\delta_i =$  Desvio padrão de carga na célula  $i$

$\gamma_i =$  Número de clientes na célula  $i$  (variável estocástica)

$\alpha =$  Probabilidade de o tempo necessário para um motorista completar as entregas ser superior a  $Q_k$

$\rho_{ik} =$  Fator de curva de aprendizagem na célula  $i$  para o motorista  $k$

A função objetivo é definida como:

$$\text{Min } E \left[ \sum_{i,k} \rho_{ik} T_i \gamma_i I_{ik} + \sum_{i,k} \rho_{ik} C_{ik} I_{ik} \right], \quad (6)$$

com as seguintes restrições:

$$\sum_k I_{ik} = 1 \text{ com } i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$P(\sum_i (\rho_{ik} T_i \gamma_i + \rho_{ik} C_{ik}) I_{ik} \leq Q_k) \geq 1 - \alpha \text{ com } (k = 1, \dots, m) \quad (8)$$

$$I_{ik} = 0 \text{ ou } 1 \quad (9)$$

A restrição (7) impõe que todas as células têm de ser atribuídas a uma área principal, a restrição (8) impõe que a probabilidade de um motorista não conseguir completar todas as suas entregas seja inferior a  $\alpha$  e a restrição (9) caracteriza a variável  $I_{ik}$  como binária.

### 2.3.3.1.3.2 Criação de regras de despacho diárias

Esta fase enquadra-se no nível operacional e tem como objetivo criar rotas diárias para os motoristas. Cada célula  $i$  da zona flexível é atribuída a uma área principal  $k$ , sendo criada a rota de cada motorista. Se a procura num dia for elevada e não for possível atribuir todas as células da zona flexível às áreas principais, então pode criar-se uma rota formada apenas por células da zona flexível, que será atribuída a um motorista subcontratado que trabalhará apenas nesse dia. É assim assegurado o nível de serviço pretendido, a estabilidade da zona onde conduz cada condutor, e a flexibilidade de aumentar ou diminuir o número de condutores diariamente.

## 2.4 Simulação

Segundo Kelton, Sadowski, e Sturrock (2004), simulação refere-se a uma extensa coleção de métodos e aplicações, para imitar o comportamento de um sistema real, geralmente feito num computador e *software* apropriados. O termo simulação pode ser extremamente vasto pois a ideia aplica-se a inúmeros campos da ciência, indústria e outras aplicações. Hoje em dia a simulação é mais popular e poderosa do que sempre, pois os computadores e *software* estão cada vez mais desenvolvidos.

Um modelo de simulação pode ser classificado de várias formas:

- Estático ou dinâmico - Um modelo de simulação estático, não inclui a variável tempo. O exemplo mais clássico é simular o resultado de atirar uma moeda ao ar  $n$  vezes. Um modelo de simulação dinâmico, inclui a variável tempo e existem vários exemplos como a simulação de um processo de fabrico.
- Contínuo ou Discreto - Numa simulação contínua, o estado do sistema altera continuamente, enquanto que numa simulação discreta as mudanças só podem

acontecer em pontos separados no tempo. Exemplos respetivos são, a simulação de produção de líquidos e a simulação de produção de peças.

- Determinístico ou Estocástico - Num modelo de simulação determinístico, os *inputs* são previsíveis, enquanto que num modelo Estocástico são aleatórios.

De seguida é feita uma descrição da evolução da simulação computacional. As primeiras simulações computacionais foram feitas nos anos 50, com linguagens de programação generalistas, como por exemplo Fortran. Mais tarde foram criadas linguagens de programação especialmente desenvolvidas para modelar simulação, como sejam, *GPSS*, *Simsript*, *SLAM* e *SIMAN*. Este tipo de linguagens é de baixo nível, requer grande tempo de aprendizagem e é um processo demorado e penoso de criação de modelos de simulação. Com o avançar do tempo surgiram *software* de simulação de alto nível, com uma interface gráfica intuitiva, fácil de usar onde se constroem modelos através da escolha de ícones de construção pré-definidos e se criam ligações entre eles, sendo assim escondido do utilizador a linguagem de simulação. A desvantagem dos *software* de alto nível é a falta de flexibilidade para programar funções mais complexas que aquelas fornecidas pelos ícones de construção.

#### **2.4.1 Arena**

O *software Arena* foi adquirido pela *Rockwell Automation* em 2000 e encontra-se correntemente na versão 14. Este *software* que tem por base a linguagem de simulação *SIMAN*, permite a modelação de alto nível, através de interface gráfica criando e unindo módulos, mantendo a flexibilidade de ser possível programar procedimentos mais complexos, através de escrita de código numa linguagem de baixo nível. A versão mais recente inclui várias funcionalidades, tais como a criação de animação 2D e 3D (para possibilitar a fácil visualização do decorrer da simulação), importação e exportação de dados para folhas de cálculo, bases de dados, processadores de texto e *software* de desenho de fluxogramas e incorporação do *Visual Basic Applications* (VBA).

### 3 Apresentação do projeto de otimização operacional

Nesta secção, será apresentado com detalhe o projeto de otimização operacional na empresa. O projeto engloba a plataforma do Porto e tem como objetivo melhorar o desenho das rotas mantendo o nível de serviço e reduzindo custos.

#### 3.1 Divisão territorial

A plataforma do Porto abrange os códigos postais (CPs) desde o 3700 até ao 4999, embora algumas localidades de fronteira com outras plataformas sejam consideradas "cinzentas", não estando 100% definido a que plataforma pertencem.

A divisão mínima territorial considerada na Rangel (daqui em diante denominada zona), é definida por um CP de 4 dígitos e uma localidade, por exemplo 4480 - *Outeiro Maior*. Existem 1921 zonas na área abrangida pela plataforma do Porto. A nível de CPs de 4 dígitos existem 334 CPs na plataforma do Porto.

#### 3.2 Tipos de Rotas

Existem 4 tipos de rotas:

- Arrasto /*linehaul*;
- Pesada;
- Paqueteria;
- SOS.

As rotas do tipo arrasto /*linehaul* são noturnas e transportam carga entre plataformas. As rotas do tipo pesada, fazem entregas e recolhas de carga pesada (peso por volume superior a 30 kg) e fazem geralmente um número menor de Stops que as rotas do tipo paqueteria e costumam ter uma remuneração do tipo diário. As rotas de paqueteria, fazem entregas e recolhas de carga ligeira (peso por volume inferior a 30 kg). As rotas SOS, são rotas especiais com carros dedicados que fornecem um serviço de recolha e entrega, sem que a carga tenha que passar pela plataforma e se necessário de um volume único por carro. É um serviço bastante mais caro que os restantes, mas garante tempos entre recolha e entrega superiores para situações de emergência. No âmbito deste projeto foram apenas estudadas as rotas de paqueteria da plataforma do Porto (40 rotas).

#### 3.3 Serviços

A REX II oferece um conjunto de três serviços:

- Rangel Express 19;
- Rangel Express ilhas aéreo;
- Rangel Express ilhas marítimo;
- Grandes superfícies.

O serviço Rangel Express 19, é um serviço de entrega porta-a-porta de documentos e encomendas até 30kg por volume até às 19h00m do dia seguinte em todo o Portugal continental. Na prática muitas empresas encerram às 18h00m e é considerado um DEX

(*Delivery Exception*) Inaceitável não conseguir fazer uma entrega se a empresa estiver fechada e passar das 18h00m. Assim, o tempo limite máximo de entregas deste serviço é as 18h00m do dia seguinte.

O serviço Rangel Express ilhas aéreo e serviço Rangel Express ilhas marítimo, destinam-se a entregas nas principais ilhas portuguesas não fazendo estes serviços parte do estudo realizado.

O serviço Grandes superfícies incluem entregas e recolhas a clientes situados em grandes superfícies para o qual é necessário um pré agendamento, não fazendo este serviço parte do estudo realizado.

A Fedex oferece um conjunto de três serviços:

- IP - *International Priority*;
- Fedex *Europe First*;
- IPF - *International Priority Freight*.

O serviço IP - *International Priority* está vocacionado para transporte urgente de documentos, amostras e mercadorias para qualquer ponto do mundo, com limite máximo de peso de 68 kg por volume. Este serviço está dividido em duas subcategorias, Expresso e Carga Aérea Expresso, a diferença entre os dois é que, para ser considerada Carga Aérea Expresso, o envio (total de volumes) terá de ter um peso mínimo de 68 kg, tendo este serviço preços especiais relativamente ao Expresso.

O serviço Fedex *Europe First*, é um serviço que garante a possibilidade de entrega no dia seguinte às 9h00m, 9h30m ou 10h00m consoante o CP disponível, em mais de 18.000 CPs na Europa. É um serviço vocacionado para envios extremamente urgentes, com entrega com hora garantida.

O serviço IPF - *International Priority Freight*, é um serviço expresso com entrega porta a porta e despacho de exportação incluído. A diferença relativamente aos outros serviços é o peso máximo por volume, que pode variar entre 68kg e 999kg. Este serviço está disponível para mais de 60 países no mundo.

Os serviços da Fedex garantem entregas até às 18h00m ou até às 12h00m, consoante a zona de entrega.

### 3.4 Rotas

Uma rota é definida por um conjunto de zonas. Os clientes mudam de dia para dia não sendo definida como rota um conjunto de clientes, mas sim as zonas onde estão esses clientes. É possível existirem rotas distintas que contenham a mesma zona, o que é comum no caso de se tratar de uma rota do tipo paqueteria e outra do tipo pesado. As rotas do tipo SOS, são diferentes pois não têm a elas associado nenhuma zona. As rotas do tipo Arrasto /*linehaul*, são definidas por duas plataformas e não por zonas. Existem ainda algumas rotas consideradas não fixas, que servem de auxílio em situação de maior procura de serviço, ou no caso de alguma rota não estar ativa devido por exemplo, a férias ou baixa do condutor. Este tipo de rotas foi excluído do estudo, bem como alterações de curto prazo, tais como uma rota considerada fixa fazer zonas que não faz regularmente, devido a férias ou baixa do motorista de outra rota.

### 3.5 Cut-off

A cada zona está associado um *Cut-off*. Um *Cut-off* é uma janela temporal, na qual a Rangel se compromete a fazer recolhas dentro de uma certa zona, existindo também uma hora máxima até à qual a Rangel aceita requisição de recolhas. Por exemplo, na zona 4480 - *Outeiro Maior*, só é possível requisitar uma recolha até às 16h15m do próprio dia, sendo a recolha feita entre as 17h00m e as 18h00m (*Cut-off*). Os *Cut-offs* são definidos de acordo com o desenho das rotas, não sendo este um entrave à otimização de rotas, pois é possível fazer um reajuste dos *Cut-offs* depois do redesenho das rotas.

### 3.6 Remuneração dos motoristas

Existem dois tipos de remuneração dos motoristas que trabalham para a Rangel, remuneração diária ou remuneração por *Stop* (paragem) efetuado.

A remuneração diária é fixa e independente do número de *Stops* efetuado pelo motorista. Em geral é aplicada este tipo de remuneração a condutores de frota própria, ou seja, trabalhadores de Rangel. Este tipo de remuneração é também aplicada à frota subcontratada, em casos de rotas que percorram uma distância muito longa e com poucos *Stops*, já que uma remuneração ao *Stop*, seria pouco equilibrada do ponto de vista do tempo de trabalho e custos do motorista versus remuneração diária.

A remuneração por *Stop* efetuado, é feita com base no número de *Stops* feitos num dia por um motorista, o valor de cada *Stop* não é necessariamente igual, podendo variar consoante objetivos pré-definidos. Ou seja, pode existir uma remuneração por *Stop* igual a  $X$ , até  $Y$  *Stops* diários e uma remuneração por *Stop* igual a  $Z$ , a partir de  $Y$  *Stops* diários, sendo  $Z$  inferior a  $X$ . Como exemplo, um motorista pode receber 2,5 € por *Stop* até 30 *Stops* e 2€ a partir de 30 *Stops* efetuados, neste caso se o motorista fizer 35 *Stops* num dia irá receber  $(2,5€ * 30 \text{ Stops} + 2€ * 5 \text{ Stops} = 85€)$ . Isto sucede-se porque estando uma rota construída de modo a efetuar  $Y$  *Stops* diários em média e percorrer uma certa distância diária em média, num dia em que o número de *Stops* seja invulgarmente superior à média, a distância percorrida e tempo de trabalho do motorista não aumentarão proporcionalmente, não aumentando os seus custos também. Assim, a remuneração por *Stop* a partir de um certo número de *Stops*, diminui de forma a ser equilibrada com os custos e tempo de trabalho que o motorista teve nesse dia. A remuneração por *Stop* varia também de rota, para rota sendo que à partida uma rota que percorra mais kms em média entre cada *Stop* recebe mais por *Stop*, que uma rota que percorra menos. O cálculo de kms diários percorridos é no entanto um problema nos veículos subcontratados já que não existe acesso a faturas de combustível e a maioria dos veículos não está equipada com GPS, acabando este número por ser calculado através de uma estimativa mais ou menos correta baseada no histórico de entregas e na rota percorrida. Cada negociação de remuneração é individual, podendo não seguir exatamente à regra as normas descritas a cima.

No mês de Abril de 2014 em 19 dias de trabalho, o número médio de *Stops* diário da Rangel foi 3975 *Stops*/dia, o valor mínimo foi de 3096 *Stops*/dia e o valor máximo 5374 *Stops*/dia com um desvio padrão de 547 *Stops*/dia. Esta variação elevada de *Stops* diários é resolvida a nível de gastos salariais com a existência de uma tentativa de balanceamento entre rotas pagas com remuneração diária e ao *Stop*. No caso um dia ter um número de *Stops* muito abaixo da média, as rotas pagas ao dia ficam mais dispendiosas nos termos de custo por *Stop* mas este aumento de custo é compensado pelas rotas pagas ao *Stop* que não sofrem qualquer alteração de custo por *Stop*. No caso contrário de um dia com um número de *Stops* invulgarmente

acima da média, o custo diário das rotas pagas ao Stop aumenta proporcionalmente mas é compensado pelas rotas pagas ao dia que não sofrem qualquer alteração sobre este ponto de vista de gastos. As rotas diárias, proporcionam assim uma estabilidade ao nível de gastos salariais e as rotas por Stop, uma possibilidade de equilibrar os custos salariais com a receita gerada (maior número de Stop mais receita gerada).

A otimização de rotas tem de ser pensada nos termos salariais descritos acima. Não é objetivamente direto que uma redução do número de rotas signifique uma redução de custos para a empresa, o mesmo se aplicando à redução do número total de kms percorridos por todas as rotas diariamente. No entanto, uma redução média do número de kms percorridos diariamente, daria a possibilidade de renegociar preços por Stop, nas rotas pagas ao Stop e, reduzir custos com combustível e desgaste dos veículos da frota própria. A redução de número de rotas diária, sem aumento das rotas pagas por Stop, significaria uma redução de custos salariais. O aumento do número médio de Stops/dia sem aumentar proporcionalmente a distância percorrida nas rotas pagas ao Stop, levaria a serem aplicados os preços de Stop a partir de um número de Stops  $Y$  (como descrito acima) e consequente redução de custos.

### 3.7 Veículos

Os veículos da frota própria e subcontratados pela Rangel são divididos em 4 categorias:

- *TIR*;
- Pesado;
- Contentor;
- Furgão.

A categoria *TIR*, refere-se a camiões *TIR* usados apenas nas linhas de arrasto/*linehauls*. A categoria pesados, refere-se a veículos de rotas consideradas do tipo pesado. Este tipo de veículo costuma ter limitações quanto ao número de Stops efetuados diariamente, causado pelo limite de carga possível de transportar no veículo. A categoria contentor e categoria furgão, refere-se a dois tipos de veículos usados em rotas do tipo paqueteria e, estão na grande maioria das vezes limitados quando ao número de Stops diário, por restrições temporais e não de capacidade do veículo. A restrição de capacidade foi por este motivo ignorada neste projeto.

### 3.8 Níveis de Serviço

Quando um volume sai para distribuição é registado no GCOM2+ (sistema de informação da Rangel) como *out for delivery* (OD). Depois de estar em distribuição existem três cenários possíveis:

- Entrega bem sucedida (POD - *Proof of delivery*);
- Entrega não aconteceu ou aconteceu de forma imperfeita por culpa da Rangel (DEX inaceitável);
- Entrega não aconteceu ou aconteceu de forma imperfeita por culpa do cliente (DEX aceitável).

No caso de a Entrega ser bem sucedida, é introduzido no GCOM2+ um *Prof of Delivery* (POD) representado pelo código 00, com o significado de que a entrega foi feita dentro do horário estipulado sem danos e sem qualquer outro tipo de erro. No caso de a entrega não acontecer ou acontecer de forma imperfeita por culpa da Rangel, é introduzido um código no GCOM2+ de *Delivery Exception* (Dex) não aceitável. O código do Dex não aceitável varia

consoante a situação, existindo códigos para "Entrega impossível", "Rota mal atribuída", "Plataforma Errada", entre muitos outros. No caso de a entrega não acontecer ou acontecer de forma imperfeita por culpa do cliente, é introduzido um código no GCOM2+ de *Delivery Exception* (Dex) aceitável. O código do Dex aceitável varia consoante a situação, existindo códigos para "Endereço incorreto", "Impossível localizar", "Envio Recusado pelo Destinatário - Não Encomendado", entre muitos outros.

Existem dois indicadores principais de nível de serviço usados pela Rangel, o *Service Level* (SL) e o *Net Service Level* (NSL), definidos respetivamente como:

$$SL = \frac{POD}{OD} \quad (10)$$

$$NSL = \frac{POD + DEX \text{ aceitável}}{OD} \quad (11)$$

Na equação (10) o *Service level*, é definido como o número de volumes com entrega bem sucedida, sobre o número de volumes que saíram para distribuição. Na equação (11) o *Net Service level*, é definido como o número de volumes com entrega bem sucedida mais o número de volumes que não foram entregues ou foram entregues de forma imperfeita por culpa do cliente, sobre o número de volumes que saíram para distribuição. Matematicamente NSL é sempre superior ou igual a SL.

A Rangel definiu como objetivo, um SL igual ou superior a 98% e um NSL igual ou superior a 99,5%. No mês de Abril deste ano a nível nacional o SL foi de 97,1% e o NSL de 99,4%. Na plataforma do Porto no mês de Abril o SL foi de 97,1% e o NSL de 99,3%.

O SL e o NSL são indicadores do nível de serviço baseados em percentagens de volumes. Não existem indicadores similares de percentagem de Stops efetuados, nem objetivos para a percentagem de Stops efetuados com sucesso. Em cada Stop o número de volumes a entregar varia, não sendo por isso o número de Stops proporcional ao número de volumes. Não é viável fazer uma média de número de volumes por entrega, para obter algum tipo de conclusão sobre o número de Stops efetuado com sucesso, pois à partida cada motorista não tendo possibilidade de fazer todos os Stops que lhe foram atribuídos, irá tentar fazer aqueles que têm maior número de volumes. Foi sugerido neste projeto um objetivo de nível de Stops efetuados com sucesso de 98,5%, baseado no histórico do mês de Abril de 2014. Doravante será considerado o *nível de serviço*, como o número de Stops efetuados com sucesso sobre o número de Stops atribuídos, isto porque o modelo de simulação e o algoritmo usam como unidade, o Stop e não o volume.

### 3.9 Sistema de informação (SI)

O SI usado pela Rangel é o GCOM2+. Este SI contém um conjunto de mecanismos e bases de dados referentes a vários departamentos da empresa, tais como dados sobre clientes, comerciais, motoristas, rotas, serviço de apoio ao cliente, entre outros. Nesta secção serão apenas abordados os mecanismos e as bases de dados mais relevantes para o problema proposto.

Relativamente às operações, existe um conjunto de relatórios e bases de dados criados pelo GCOM2+, nomeadamente:

- Relatório controlo de produção;
- Relatório nível serviço entregas;
- Relatório nível de serviço recolhas;

- Mapa diário de entregas;
- *Cut-offs*.

O relatório controlo de produção, está agrupado por rota e contém informação sobre o número de Stops do tipo recolha e o número de Stops do tipo entrega que cada rota fez em cada dia, bem como, informações sobre a remuneração do motorista da mesma rota, o peso total, o número de guias total e a descrição da rota. Esta informação é corrigida e validada todos os dias e serve de base para o cálculo da remuneração dos motorista. É pertinente para o problema aqui tratado, obter a partir deste relatório, o número de Stops diário de cada rota embora não seja possível chegar ao detalhe da localização de cada Stop. Por exemplo, é possível saber que a rota *P0219* fez um total de 46 Stops no dia 3 de Abril, mas não é possível saber quantos Stops fez em cada zona e a que horas.

O relatório nível de serviço de entregas, contém a data de todas as guias às quais foi dado OD. É registado nesta base de dados por guia qual a rota que lhe foi atribuída, o destinatário e a sua morada, o scan que foi dado à guia (POD ou DEX), a hora à qual foi dado esse scan, o nível de serviço associado a essa guia (Entrega bem sucedida, Dex aceitável ou Dex não aceitável) e o peso, volume e número de volumes dentro da guia mestre. Este relatório não é corrigido ou validado do ponto de vista de correção de moradas, clientes ou horas a que foi dado o scan. Este relatório é usado para calculo do SL e do NSL. É possível obter o número de Stops diários por rota em cada zona, usando o cliente e morada do cliente. Este processo está no entanto, sujeito a erros devido à inserção incorreta de moradas e repetição de moradas e clientes que, embora sejam os mesmos, aparecem com um nome diferente por exemplo o cliente "MONICA MENDES - UNIP., LDA" ou o cliente "MONICA MNDES - UNIP., LDA", o qual foi inserido no sistema esquecendo-se de colocar a letra E na segunda palavra, são considerados como dois clientes, logo iram contabilizar dois Stops, quando na verdade é só um. Calcula-se um erro de 2% relativamente ao número de Stops obtido pelo relatório controlo de produção e pelo relatório nível serviço entregas. A hora a que foi dado o *scan* não é correta na maioria dos casos, pois é frequente que o motorista não dê nenhum *scan* enquanto faz as entregas e dê todos os scans seguidos à hora de almoço ou fim do dia. Isto causa um problema na obtenção de tempo médio entre Stops por zona que não é possível de calcular com a precisão necessária, sendo apenas possível o cálculo do tempo médio entre Stops ao longo do dia (sem ser separados por zonas). Assim, o relatório controlo de produção é mais correto mas contém menos informação que o relatório nível serviço entregas. Este ficheiro permite também obter o conjunto de rotas usado atualmente pela empresa.

O Relatório nível de serviço recolhas, é similar ao de entregas, mas com os dados de recolhas.

O Mapa diário de entregas, contém a morada correta sem repetições de cada Stop a ser efetuado ao longo do dia em cada rota, e é imprimido e entregue a cada motorista no início do dia antes de este partir para viagem. Embora contenha as moradas certas e não repetidas é muito demoroso retirar esta informação do sistema, pois só pode ser feito o *download* um relatório de um dia de uma rota de cada vez, o que torna irrealista em termos temporais obter dados a partir deste relatório de um mês de atividade da empresa.

A base de dados *Cut-off*, contém uma lista de todas as zonas com a respetiva hora máxima até à qual a Rangel aceita requisição de recolhas, o *Cut-off* dessa zona e a rota à qual essa zona é atribuída. É útil para obter os *Cut-offs*, mas a informação relativamente à atribuição de cada zona a uma rota está desatualizada e não foi por isso considerada, tendo as rotas sido obtidas através do Relatório nível serviço entregas e do Relatório nível de serviço recolhas.



**Tabela 1 - Rotas atuais(Rotas a norte do depósito)**

Nº e cor da rota	Nome	Percurso						
1	P0110	depósito	CP4925	CP4990	CP4940	depósito		
3	P0202	depósito	CP4705	CP4710	CP4700	depósito		
4	P0203	depósito	CP4485	CP4935	CP4905	CP4740	depósito	
10	P0301	depósito	CP4900	CP4910	CP4920	CP4930	depósito	
15	P0601	depósito	CP4480	CP4570	CP4495	CP4490	depósito	
16	P0602	depósito	CP4750	CP4755	CP4775	depósito		
18	P0619	depósito	CP4890	CP4810	CP4830	CP4850	depósito	
19	P0702	depósito	CP4980	CP4960	CP4950	CP4970	depósito	
20	P0802	depósito	CP4705	CP4710	CP4700	depósito		
24	P0819	depósito	CP4715	CP4710	CP4700	depósito		
25	P0901	depósito	CP4815	CP4810	CP4800	CP4830	depósito	
26	P0902	depósito	CP4730	CP4720	CP4820	CP4860	CP4880	depósito
34	PI560	depósito	CP4620	CP4650	CP4610	depósito		
36	PI590	depósito	CP4830	CP4800	CP4805	depósito		

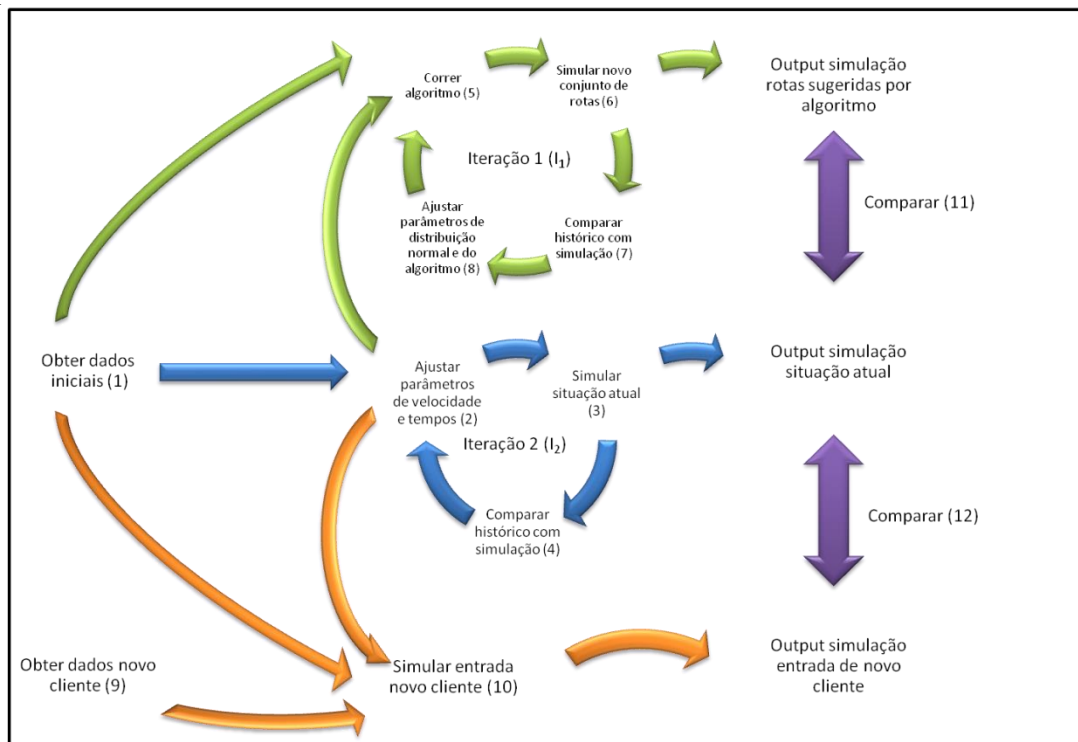
## 4 Ferramenta de apoio à decisão para previsão de nível de serviço e otimização de rotas

### 4.1 Visão Geral

A ferramenta de apoio à decisão, tem como objetivo prever o nível de serviço da Rangel em cenários *What if* tais como, entrada de novos grandes clientes ou aumento de percentagem de procura de serviço e de apoio à otimização de rotas.

Os modelos usados pela ferramenta de apoio à decisão são apenas isso, modelos. Não representam a realidade a 100%, pelo que, esta ferramenta não serve para tomar decisões rígidas e inalteráveis sobre que rotas serão usadas. Serve sim, para perceber que níveis teóricos de otimização podem ser atingidos e, para a criação de um conjunto de rotas que terá depois de ser ajustado e afinado, com a experiência dos colaboradores da Rangel e com os dados obtidos no dia a dia, caso o conjunto de rotas chegue a ser implementado.

A ferramenta é constituída por um modelo de simulação e um algoritmo que devem ser usados de forma iterativa. O esquema seguinte mostra o método seguido por esta ferramenta de apoio à decisão:



**Figura 4 - Metodologia da ferramenta de apoio à decisão**

Neste esquema, pode ver-se a existência de quatro linhas de procedimento iterativas, que interagem umas com as outras (azul, verde e laranja e roxo):

- O procedimento azul, representa a simulação das rotas atuais, com o número de Stops atuais e tem por objetivo, validar e ajustar os parâmetros de *input* da simulação.
- O procedimento verde, representa a obtenção de novas rotas através do algoritmo e sua posterior validação através da simulação.
- O procedimento laranja, representa a simulação das rotas atuais com a entrada de um novo grande cliente, com o objetivo de estudar o seu impacto.

- O procedimento roxo, representa a comparação dos vários cenários obtidos na simulação.

Abaixo analisa-se com mais detalhe cada procedimento, os números entre parenteses referem-se a cada passo da Figura 4.

O processo inicia-se com a aquisição de dados iniciais (1) obtidos através do histórico da empresa e das API (*Application Programming Interface*) e mapas da Google, nomeadamente:

- Divisão territorial e CPs abrangidos pela plataforma do Porto;
- Divisão interna de CPs;
- Deadline de entregas Fedex em cada CP (12h ou 18h);
- Média e desvio padrão atual de número de Stops por CP;
- Conjunto de rotas atual;
- Nível de serviço atual;
- Horário de trabalho dos motoristas;
- Matriz de tempos de viagem entre cada CP;
- Distância do centro de cada CP até à periferia;
- Área de cada CP.

Segue-se o processo azul, com a atribuição de parâmetros de velocidade e tempos (2) nomeadamente:

- velocidade média do veículo dentro de cada CP;
- tempo médio de entrega sem contar com deslocação.

De seguida, é feita a simulação da situação atual (3) da qual se obtém o output nível de serviço, ou seja, o número de Stops efetuados corretamente sobre o número total de Stops atribuídos.

O passo seguinte é comparar o nível de serviço gerado pela simulação e o nível de serviço indicado pelo histórico(4). A validação dos parâmetros de velocidade e tempos, só é dada no caso de estes valores estarem em sintonia. Caso contrário, inicia-se o processo iterativo ( $I_1$ ) de atribuir novos valores aos parâmetros, simular e comparar níveis de serviço. O processo iterativo termina quando forem obtidos valores satisfatórios de nível de serviço gerado pela simulação.

Depois de encontrados os valores adequados dos parâmetros referidos, segue-se para o procedimento verde. Este procedimento tem como *input* os dados iniciais, os parâmetros de velocidade e tempos e o parâmetro de distribuição normal.

Os parâmetros do algoritmo e o parâmetro de distribuição normal serão explorados com mais detalhe na secção 4.3.2.

Corre-se o algoritmo (5) e obtém-se um novo conjunto de rotas. Este novo conjunto de rotas serve de *input*, em conjunto com os parâmetros de velocidade e tempos e os dados iniciais (substitui-se dos dados iniciais as rotas atuais, pelas rotas geradas pelo algoritmo) para a simulação (6). Posteriormente é feita a comparação entre o nível de serviço obtido pela simulação e do histórico (7). Inicia-se um processo iterativo de ajuste dos parâmetros de distribuição normal e do algoritmo (8), correr algoritmo e simular ( $I_2$ ). As iterações param quando for atingido um nível de serviço gerado pela simulação adequado ao nível de serviço pretendido. Foi considerado como nível de serviço pretendido um nível de serviço necessariamente igual ou superior ao do histórico mas, tentando ser o mais próximo possível um do outro.

O procedimento laranja tem como *input* os dados do novo cliente (9), os dados históricos e os parâmetros de velocidade e tempo. É possível fazer o mesmo tipo de estudo usando esta ferramenta com qualquer alteração ao número de Stops, como por exemplo, um incremento de x% na procura de serviço. No caso concreto desta dissertação foi usado o cliente Geodis para ser feito o estudo de impacto de entrada de novo grande cliente.

É feita a simulação e obtém-se o nível de serviço com o novo cliente (10) mantendo as rotas atuais.

O procedimento roxo consiste em comparar os diferentes cenários e tirar conclusões. São comparados os cenários de rotas atuais, versus rotas geradas por algoritmo (11) e rotas atuais com novo grande cliente, versus rotas atuais sem novo grande cliente (12).

#### 4.1.1 Aquisição de dados iniciais

Nesta secção, são atribuídos e explicados os valores dos *inputs* e dados usados na ferramenta de apoio à decisão.

##### **Divisão territorial e CPs abrangidos pela plataforma do Porto**

Foram considerados CPs de 4 dígitos do 3700 ao 4999, obtidos a partir do Relatório nível serviço entregas e do Relatório nível serviço recolhas. Embora a divisão territorial da Rangel seja feita por zonas definidas por um CP de 4 dígitos e uma localidade (explicado na secção 3.1), optou-se por uma divisão territorial em CPs de 4 dígitos, ou seja, as localidades foram agrupadas. Isto deve-se ao facto de existirem 1921 zonas definidas na plataforma do Porto, um número muito elevado quando comparado com os 334 CPs que torna a modelação mais simples. Para além disso, a obtenção de dados das moradas com CPs de 4 dígitos e localidade é mais complexa e suscetível a erros. A diferença a nível de detalhe do modelo não é significativamente alterada, pois a grande maioria das zonas que se diferenciam apenas por localidade, mas têm o mesmo CP de 4 dígitos, em geral pertencem à mesma rota e têm o mesmo *Cut-off*. Foram apenas considerados CPs que são identificados pelo *Google Maps*, dando possibilidade de construção da matriz de tempos. Em geral, o *Google Maps* identifica apenas CPs terminados em zero ou cinco. Os dados do histórico de entregas e recolhas da Rangel incluem CPs não identificados pelo *Google Maps* e nesses casos, os CPs foram modificados para o CP identificável pelo *Google Maps* imediatamente anterior. Por exemplo, as entregas no CP 4001 passaram a ser consideradas entregas no CP 4000. Em geral, os CPs não terminados em zero ou cinco estão incluídos na mesma área geográfica do que o CP terminado em zero ou cinco imediatamente anterior, ou então em zonas geográficas muito próximas. No total, depois destes agrupamentos obteve-se um total de 115 CPs. Verificou-se que destes 115 CPs, 10 deles tinham um número de Stops inferior a 1 por dia, pelo que, foram excluídos ou agrupados em CPs próximos. Depois desta alteração obteve-se um total de 105 CPs.

##### **Divisão interna de CPs**

A divisão interna de CPs consiste no processo de dividir um CP em vários, por exemplo, o CP 4200 passa a ser dois CPs denominados, CP 4200A e CP 4200B. Esta divisão não é geográfica representando o CP4200A e CP4200B a mesma área geográfica, mas número de Stops diferentes que quando somados são iguais ao número de Stops do CP4200. Ou seja, se o CP 4200 pertencer a duas rotas diferentes (A e B), ambas as rotas irão em termos geográficos percorrer o CP 4200, mas a rota A irá fazer o número de Stops atribuído ao CP4200A e a rota B ao CP4200B. No limite, este tipo de divisão levaria a um modelo em que se podiam não só

escolher os CPs por onde passa a rota mas também quantos Stops a rota faz em cada CP. Optou-se por não se seguir esse modelo devido à sua elevada complexidade. Tendo em conta que o agrupamento de localidades pode ser uma aproximação demasiado simplista da realidade, optou-se por criar estas divisões internas de CP nos casos seguintes:

- CPs nos quais passam duas ou mais rotas;
- CPs de grande dimensão geográfica ou quantidade média de Stops muito elevada;
- Casos de CPs em que alguns Stops são de entrega obrigatória até ao meio dia e outros até às 18h00m.

Embora tecnicamente não seja correto definir 4200A como um código postal, passar-se-á a considerar estas subdivisões de CPs como um CP individual. Posteriormente à divisão interna de CPs obteve-se um total de 142 CPs.

### **Deadline de entregas Fedex em cada CP (12h ou 18h)**

Existem na plataforma do Porto atualmente 11 CPs com entregas até ao meio dia ver Anexo B.

### **Rotas e nível de serviço atual**

O conjunto de rotas atual foi descrito na secção 3.10.

O nível de serviço atual foi descrito na secção 3.8.

### **Horário de trabalho dos motorista**

Os veículos saem do armazém da Rangel às 9h00m, fazem uma pausa entre as 12h00m e as 14h30m e terminam o dia às 18h00m, já no armazém da Rangel. Assim, o tempo útil do dia de trabalho considerado foi de 6h30m, e o tempo útil até ao meio dia de 3h00m. O motivo pelo qual o intervalo de almoço é tão grande é que a maioria das empresas está fechada ou o destinatário não se encontra lá nessas horas, sendo muito difícil conseguir fazer entregas ou recolhas nessa altura.

### **Matriz de tempos de viagem entre cada CP**

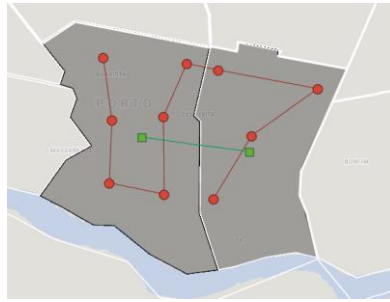
A matriz de tempos de viagem entre cada CP foi calculada em dois passos:

- Construção da matriz de tempos de viagem entre CPs, com base no centroide de cada CP;
- Construção da matriz de tempos de viagem entre CPs, com base na periferia de cada CP.

A matriz de tempos de viagem entre CPs com base no centroide de cada CP, foi construída calculando os tempos de viagem entre o centroide de cada CP. Para tal foi usada a *API* (da Matriz de distâncias do *Google* com um código construído em linguagem *javascript*). Esta *API* tem como input um conjunto de endereços aceites pelo *Google Maps* e retorna uma matriz com a distância de viagem e tempo de viagem por estrada (não em linha reta), sendo possível escolher os modos de deslocação do *Google Maps* ou seja a pé, de transporte públicos ou de carro e opções de viagem tais como aceitar estradas com ou sem portagem. Foi escolhida a opção de viagem de carro, com possibilidade de passar em estradas com portagem. Os tempos e distâncias são calculados sem contar com o trânsito existente.

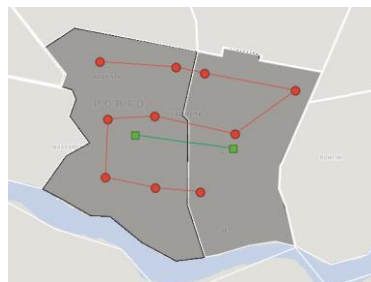
O problema existente com a matriz de tempos de viagem entre CPs, com base no centroide de cada CP, é que em geral a distância percorrida entre o último Stop de um CP e o primeiro

Stop do CP seguinte é inferior à distância entre o centroide dos dois CPs. A Figura 5 mostra a situação referida.



**Figura 5 - Viagem entre CPs (exemplo 1)**

A cinzento escuro estão representados dois CPs. As bolas vermelhas representam os Stops atribuídos à rota em cada CP, e a linha vermelha o percurso efetuado pelo condutor. Os quadrados verdes representam o centroide de cada CP e a linha verde a distância entre os dois. É possível perceber que a distância entre o último Stop de um CP e o primeiro Stop do seguinte, é inferior à distância entre os centroides dos CPs. Além do mais, existe um tempo atribuído à viagem entre cada Stop dentro dos CP, pelo que, neste caso o tempo de viagem entre CPs deveria mesmo ser considerado zero, pois o tempo de viagem entre o último Stop de um CP e o primeiro do CP seguinte, já está incluído nesse tempo de viagem entre cada Stop dentro dos CPs. É também possível que o motorista siga um percurso que entre e saia de cada CP, para completar o conjunto de Stops atribuído à rota, sendo que nesse caso o tempo de viagens entre CPs também deve ser considerado nulo. A situação é exposta na Figura 6.



**Figura 6 - Viagem entre CPs (exemplo 2)**

Para fazer uma aproximação mais correta à situação descrita, foram calculados os tempos de viagem entre o centroide e periferia de cada CP. Retirou-se esse tempo à matriz de tempos original, obtendo-se assim a matriz de tempos de viagem entre CPs, com base na periferia de cada CP (anexo C).

#### **Distância do centro de cada CP até à periferia**

O cálculo da distância entre o centroide e a periferia de cada CP, foi feito usando a distância mínima entre o centroide e um ponto pertencente à periferia, em linha reta dividida pela velocidade média dentro desse CP. Esta aproximação ignora o facto de o tempo de viagem entre o centroide e a periferia não ser feito em linha reta mas sim por estradas e que a distância entre o centroide e a periferia não é igual para toda a periferia. Nesta aproximação foi imposta a condição de não ser possível existirem valores de tempo de viagem entre CPs negativos.

## Área de cada CP

O cálculo da área de cada CP foi feito com recurso à ferramenta *Map engine* da *Google* e é usado na fórmula de cálculo de tempo médio entre Stops dentro de um CP descrito na secção 2.3.3.1.1. A lista de área de cada CP encontra-se no Anexo D.

## Aquisição de dados novo Cliente

De seguida são analisados os dados input novo grande cliente.

Tendo em conta que os dados do histórico são do mês de Abril de 2014, data na qual a Geodis já era cliente da Rangel o procedimento usado foi o seguinte:

Considera-se o volume de Stops atual, como o volume de Stops do mês de Abril incluindo a Geodis. Considera-se ainda o volume de Stops da situação alternativa a estudar, como o volume de Stops de Abril excluindo Stops da Geodis. Comparam-se os dois cenários e conclui-se qual a alteração do nível de serviço causado pela Geodis.

## 4.2 Simulação

### 4.2.1 Parâmetros de velocidade e tempos

A velocidade média dentro de cada CP representa a velocidade média do veículo entre entregas num CP. São valores difíceis de calcular que foram ajustados pelo processo iterativo 1 da Figura 4. Considerou-se uma velocidade média de 50km/h em CPs com uma área inferior a 200km<sup>2</sup>, e de 70 km/h em CPs com uma área superior. Uma possível explicação para resultados mais corretos obtidos com estas velocidades do que com outras, é que os CPs com área menor são geralmente em cidades em oposição aos CPs com maior área que são em zonas rurais, com estradas onde a velocidade permitida é superior a 50km/h.

Foi considerado um tempo de Stop independente do tempo de viagem de cinco minutos baseado em conhecimento empírico.

### 4.2.2 Módulos de *Arena* usados

Foi desenvolvido um modelo de simulação no *software Arena* com a versão 13.5. empresarial.

Na Tabela 2 são apresentados os principais módulos que foram usados neste modelo em *Arena* com um exemplo de como devem ser usados, segundo (Arena 2013).

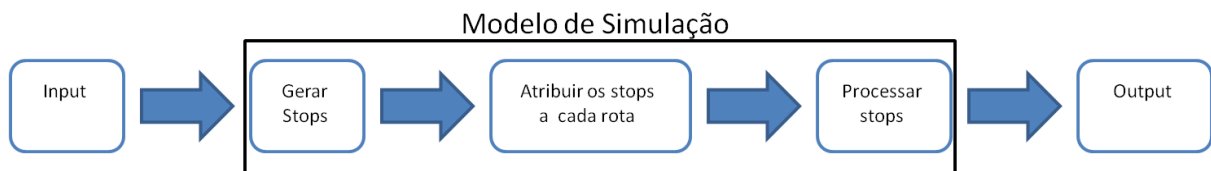
**Tabela 2 - Módulos usados no modelo *Arena***

Módulo	Descrição	Exemplo
Módulo <i>Create</i>	É o ponto inicial da simulação, responsável por criar entidades que vão ser processadas ao longo do modelo. As entidades podem ser criadas com base num horário ou definindo tempos entre chegada de cada entidade.	Criação das <i>EntidadeStop</i> , que representam um Stop que irá ser processado por um veículo.
Módulo <i>Assign</i>	É usado para atribuir novos valores a variáveis, atributos, imagens de entidades, entre outros.	Atribuição do atributo <i>Rota atribuída</i> à <i>EntidadeStop</i> .
Módulo <i>Decide</i>	Representa momentos de decisão, os quais podem ser baseados numa probabilidade ou numa condição.	Decidir qual o caminho que a <i>EntidadeStop</i> segue dentro do fluxo do modelo, de acordo com a <i>Rota atribuída</i> .

Módulo <i>Dispose</i>	É o ponto final da simulação. Local para onde vão as entidades que terminam a simulação.	Eliminar as <i>EntidadeStop</i> já processadas.
<i>Process</i>	Representa o processamento de entidades. É definido o tempo de processamento (que pode ser diferente para cada entidade) e os recursos necessários para processar a entidade.	Processamento de <i>EntidadeStop</i> pelo recurso <i>Veículo n</i> .
Módulo <i>Queue</i>	Define filas de espera, podem ser criadas regras de prioridade como <i>First In, First Out</i> , prioridade por atributo, entre outras	Fila de espera do processamento de <i>EntidadeStop</i> .
Módulo <i>Set</i>	Define um conjunto de recursos.	Set de conjunto de veículos.
Módulo <i>File</i>	É usado para aceder a ficheiros externos	Acesso ao ficheiro <i>excel InputSimulacao</i> .
Módulo <i>Hold</i>	Retém uma entidade numa fila de espera até ser recebido um sinal ou uma condição ser satisfeita. No caso do sinal, este é criado por um <i>Signal Module</i> .	Usado para ordenar as <i>EntidadeStop</i> no modulo <i>Ordena Stops rota n</i> .
Módulo <i>ReadWrite</i>	É usado para importar ou exportar dados de ficheiros externos.	Importar dados do ficheiro <i>InputSimulacao</i>
Módulo <i>Signal</i>	Envia um sinal para todos os módulos <i>Hold</i> quando por ele passa uma entidade. O sinal pode ser enviado apenas para certos módulos <i>Hold</i> .	Enviar sinal para o módulo <i>Hold Ordena Stops rota n</i> .
<i>Separate</i>	É usado para copiar entidades e para outros usos.	Copiar <i>EntidadeStop</i> um número de vezes correspondente ao número de Stops existente em cada CP.
VBA <i>Block</i>	Define um código VBA(Visual Basic Applications) que corre sempre que uma entidade por lá passa.	Código de animação escrito em VBA.

### 4.2.3 Esquema geral

De seguida será apresentado o modelo com mais detalhe. A Figura 7 representa as várias etapas da simulação.



**Figura 7 - Modelo de simulação**

### 4.2.4 Input

O input é feito através de um ficheiro Excel chamado *InputSimulacao*. Nesta folha inserem-se os seguintes dados:

- Tempo útil de um dia de trabalho;
- Tempo útil até ao meio dia;
- Lista de Rotas;
- Lista de CPs;

- Lista de média de Stops;
- Lista de desvio padrão de Stops;
- Lista de CP Meio Dia (1 se entrega até ao meio dia, 0 se não);
- Lista das áreas dos CPs;
- Lista da velocidade média dentro de cada CP;
- Tempo de Stop independente do tempo de viagem;
- Matriz de tempos de viagem entre cada CP.

As rotas variam consoante o estudo em questão (rotas atuais ou geradas por algoritmo). Cada rota é representada no excel por uma linha. A primeira e última coluna da rota são o depósito e as colunas do meio os CPs por onde passa a rota pela ordem correta.

A lista de média e de desvio padrão de Stops, está ordenada por CP e foi obtida através do histórico sendo apenas diferente no caso do estudo da entrada de um novo grande cliente.

Os restantes inputs já foram explicados na secção 4.1.

Os seguintes parâmetros são calculadas automaticamente pelo documento excel InputSimulacao:

- Número de CPs;
- Número de rotas;
- Lista de rota atribuída;
- Lista de número de ordem dentro da rota;
- Lista de tempo de viagem do CP anterior para o CP atual;
- Lista de tempo médio por Stop;
- Lista de tempo de viagem do último CP para o depósito.

O número de CPs é a quantidade total de CPs abrangidos pela plataforma.

O número de rotas, é a quantidade de rotas existente.

A Lista de rota atribuída, é uma lista ordenada por CP com a rota que foi atribuída a cada CP. Esta atribuição é feita de acordo com o input Rotas.

A Lista de número de ordem dentro da rota, é uma lista ordenada por CP, com a ordem de passagem dentro de cada CP numa rota. Por exemplo, a rota (depósito, CP4000, CP4150, depósito) gera o Número de ordem dentro da rota representado na Tabela 3.

**Tabela 3 - Exemplo de Lista de número de ordem dentro da rota**

CP	Número de ordem dentro da rota
CP4000	1
CP4150	2

A lista de tempo de viagem do CP anterior para o CP atual, é gerado através da matriz de distâncias e é uma lista ordenada por CP, do tempo de viagem entre o CP anterior ou depósito para o CP atual dentro de uma rota.

A lista de Tempo médio por Stop, é uma lista ordenada por CP, que representa o tempo entre cada Stop, incluindo viagem até ao ponto de entrega ou recolha, e o tempo de entrega ou recolha num dado CP. O Tempo médio por Stop é calculado usando a equação (4)

A lista de tempo de viagem do último CP para o depósito, é uma lista com o tempo que demora a viagem, do último CP de cada rota até ao Depósito.

O anexo E contém *printscreens* das folhas de *excel* do ficheiro *InputSimulacao*.

#### 4.2.5 Modelo de Simulação

##### 4.2.5.1 Visão geral

O modelo de simulação é alimentado pelo ficheiro de *excel* *InputSimulacao* e gera um ficheiro *excel* com os dados de *output*. O modelo está disponível no Anexo F.

Esta modelo está dividido em 3 fases:

- Gerar Stops;
- Atribuir os Stops a cada rota;
- Processar Stops.

A etapa gerar Stops, simula a procura de serviço de um dia em termos de número de Stops por CP e as características desses Stops (tempos de processamento do Stop, limite de horário de entrega/recolha). Não existe diferenciação entre Stops de entrega ou recolha pois a simulação é considerada a um nível tático e não operacional, sendo assim Stops de recolhas e Stops de entregas agrupadas em simplesmente Stops. A criação de Stops é um processo estocástico, sendo obtidas procuras de serviço diferentes em réplicas da simulação diferentes.

No passo seguinte, cada Stop é atribuído a uma única rota. Considera-se que a distribuição de volumes é feita no início do dia e não é possível haver trocas de volumes entre os veículos ao longo do dia ou alteração da rota definida para um veículo no início do dia. A atribuição de Stops a rotas é feita seguindo a definição do conjunto de rotas que está a ser estudado.

O processamento de Stops pode ser visto como uma metáfora, em que cada veículo (rota) é considerado um recurso ou máquina que demora um certo tempo a processar um produto, ou seja, o Stop. Cada veículo só pode processar um Stop de cada vez e existe uma sequência bem definida para o processamento dos Stops. É a partir desta etapa que se obtém os dados de output sobre tempos e níveis de serviço.

##### 4.2.5.2 Variáveis

São aqui enumeradas e explicadas as variáveis de maior relevo usadas na simulação. As variáveis do tipo *array* serão representadas como *Variável(n)* onde *n* representa o índice do *array*.

*Stops atribuídos (n)* - Representa o número de Stops atribuídos à rota *n* (independentemente de ser rota de entrega ao meio dia ou 18h)

*Stops atribuídos meio dia (n)* - Representa o número de Stops atribuídos à rota *n* no caso da rota *n* ser de entregas até ao meio dia, 0 no caso da rota *n* ser de entregas até as 18h

*Stops efetuados (n)* - Representa o número de Stops efetuados pela rota *n* (independentemente de ser rota de entrega ao meio dia ou 18h)

*Stops efetuados meio dia (n)* - Representa o número de Stops efetuados pela rota *n* no caso da rota *n* ser de entregas até ao meio dia, 0 no caso da rota *n* ser de entregas até as 18h

*Tempo último Stop (n)* - Representa o tempo de simulação aquando do último Stop feito pelo veículo da rota *n*.

De seguida é visto com mais detalhe o funcionamento de cada uma das três etapas.

#### 4.2.5.3 Gerar Stops

No instante zero é criado um número de entidades denominadas *EntidadeStop* igual ao número de CPs existentes (*Número de CPs*). A cada uma destas entidades é posteriormente atribuído um conjunto de atributos nomeadamente:

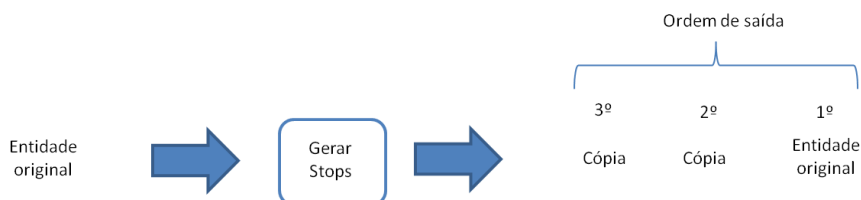
- *Nome CP*;
- *Média de Stops*;
- *Desvio Padrão de Stops*;
- *Tempo médio por Stop*;
- *Tempo de viagem do CP anterior para o CP atual*;
- *Rota atribuída*;
- *Número de ordem dentro da rota*;
- *CP Meio Dia* (1 se entrega até ao meio dia, 0 se não).

Cada um destes atributos é um valor único (não uma lista), que é escolhido das listas do excel *InputSimulacao* com o nome correspondente, consoante o CP que representa.

A inserção dos atributos é feita através de um modulo *ReadWrite* que faz a ligação com o ficheiro Excel.

Nesta fase da simulação existe um número de entidades igual ao número de CPs, sendo o objetivo existir um número de entidades igual ao número de Stops. Para tal é usado um módulo *Separate* denominado *Criar Stops*, que duplica cada *EntidadeStop*. O número de vezes que cada *EntidadeStop* é duplicada é estocástico, variando de réplica para réplica e tem por base a distribuição normal com parâmetros iguais à média e desvio padrão de número de Stops atribuídos ao CP.

O output do módulo *Separate Criar Stops*, são duas saídas uma com a entidade original (que sai primeiro) e outra com as cópias (que saem de seguida). Este facto permite saber qual o primeiro Stop dentro de cada CP, como exemplificado na Figura 8:



**Figura 8 - Ordem de saída do módulo Separate**

De seguida, é alterado à entidade original (que é o primeiro Stop dentro de um CP) o *Tempo Médio Por Stop*. Soma-se ao tempo de fazer uma entrega dentro do CP o tempo de viagem do CP anterior até ao CP atual, ou seja, o *Tempo de viagem do CP anterior para o CP atual*. As cópias mantêm, o *Tempo médio por Stop*, já que não são o primeiro Stop do CP.

#### 4.2.5.4 Atribuir Stops a cada Rota

Cada *EntidadeStop* é encaminhada para a sua rota através de um módulo *Decide*. Este módulo *Decide* contém uma entrada e um número de saídas, igual ao número de rotas suportada pela simulação mais uma. A entidade é encaminhada pela lógica seguinte:

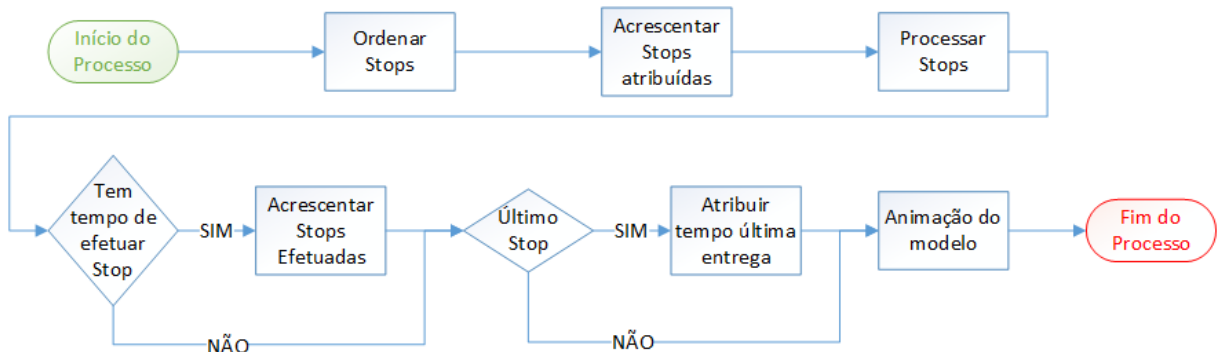
*Se Atributo Rota = n, então entidade encaminhada para a saída n*

A última saída representa CPs sem rota, o que acontece se houver erros no *input*.

O número de rotas suportado pela simulação é cinquenta. Isto não significa que existem cinquenta rotas em cada simulação mas sim que o número máximo de rotas é cinquenta. Se o número de rotas for  $n$  (inferior a cinquenta) irão existir  $(50 - n)$  rotas não utilizadas para onde não é encaminhada nenhuma *EntidadeStop* e que não tem qualquer influencia no *output* da simulação.

#### 4.2.5.5 Processar Stops

O set *Conjunto de Veículos* representa os recursos disponíveis para fazer os Stops. Este set é composto por cinquenta veículos, "Veículo 1", ... "Veículo 50"; que podem ou não ser utilizados consoante o número de rotas existentes. A cada rota corresponde um veículo, isto é, à rota 1 corresponde o veículo 1, e assim por diante. Cada processamento de uma rota corresponde a um processo, existindo assim cinquenta processos iguais e paralelos. O fluxograma seguinte representa o processo de uma rota genérica  $n$ :



**Figura 9 - Fluxograma do processo de uma Rota**

Depois de uma *EntidadeStop* ser separada para uma rota é enviada para um módulo *Hold* denominado *Ordena Stops rota n*, o objetivo deste módulo é que as *EntidadeStop* sejam processadas pela ordem correta. As *EntidadeStop* são criadas por ordem da *Lista de CPs* que não é necessariamente a mesma que a ordem dos CPs dentro de cada rota. Para que a ordem de processamento seja a correta, é usada uma fila de espera *Ordena Rotas n* pertencente ao módulo *Hold*. Esta fila tem prioridades e ordena as *EntidadeStop*, do *Número de ordem dentro da rota* mais baixo até ao mais alto.

As entidades são libertadas do módulo *Hold* por um sinal dado no momento imediatamente após ao segundo zero e seguem para processamento.

Segue-se um módulo *Assign*, denominado *Acrescenta Stop Atribuídos n*, que aumenta a variável *Stops Atribuídos(n)* em 1, sempre que uma *EntidadeStop* por lá passa e aumenta a variável *Stops Atribuídos Meio Dia (n)* em 1, caso seja um CP com entregas até ao meio dia.

A seguir a *EntidadeStop* é processada num módulo *Process*, denominado *Rota n*, pelo recurso *Veículo n*. Cada veículo só pode processar um Stop de cada vez e o tempo de processamento é o *Tempo Médio Por Stop* da *EntidadeStop* que está a ser processada.

Todos os Stops são processados independentemente de estarem dentro do horário de trabalho ou não. Isso é garantido dando um tempo de simulação suficientemente grande. Assim, embora o tempo útil de trabalho seja 6h30m, o tempo de simulação dado foi de 24h. Isto permite calcular quanto tempo extra seria necessário para fazer todos os Stops, como se verá mais à frente.

Todos os Stops de CPs com entrega até ao meio dia são processados, independentemente de passar da hora do meio dia ou não quando o Stop é efetuado. Isto porque, mesmo que passe do meio dia e o Stop já seja considerado como uma falha, tem de ser feito na mesma.

Depois de processada, a *EntidadeStop* segue para módulo *Decide Tem Tempo Para Efetuar Stop n* com duas saídas que verifica se houve tempo de fazer o Stop dentro dos horários de trabalho ou não. A equação usada no módulo Decide é a seguinte:

$$TNOW + \text{TempoDeViagemDoUltimoCPParaDeposito} < \text{Tempo útil de um dia de trabalho} \quad (12.1)$$

$$(1 - CPMeioDia) \text{ OR } (CPMeioDia \times (TNOW < \text{Tempo útil até ao meio dia})) \quad (12.2)$$

onde TNOW representa o tempo atual de simulação.

No caso de a expressão ter valor 1, existe tempo de fazer a entrega no horário correto, caso contrário o valor é 0.

A equação (12) é composta por duas partes. Na primeira parte (12.1) garante-se que existe tempo de fazer a viagem de volta ao depósito dentro do tempo útil de trabalho depois de feita a entrega. Na segunda parte (12.2) garante-se que, ou o Stop só tem de ser feito até ao fim do dia ou o Stop tem de ser feito até ao meio dia e foi de facto feito até ao meio dia.

Se for possível fazer o Stop dentro do horário, é adicionada um Stop à variável *Stops Efetuados(n)* e é também adicionado um Stop à variável *Stops Efetuados Meio Dia(n)*, caso seja um *CP Meio dia*.

A *EntidadeStop* segue para o módulo *Decide Último Stop n* que verifica se é este o último Stop da rota, caso seja, é dado o valor da hora atual da simulação (TNOW) à variável *Tempo Última Entrega(n)*. Esta variável é usada para calcular o tempo extra necessário para fazer todas as entregas ou o tempo de sobra relativamente à última entrega, quando comparada com o tempo útil de trabalho diário.

Depois a entidade passa por um bloco VBA (*Visual Basic Applications*), que contém o código de animação do modelo.

#### 4.2.5.6 Código VBA

O *Arena* permite embutir código VBA. Esta mais valia é usada para criar o *output* da simulação num ficheiro Excel, e para criar a animação da simulação.

Segue-se a descrição do código VBA para criar output. Este código divide-se nas seguintes fases:

- *ModelLogic\_RunBeginSimulation*;
- *ModelLogic\_RunEndReplication*.

O código *ModelLogic\_RunBeginSimulation*, é chamado no início da simulação. Cria um livro Excel onde vão ser preenchidos os outputs da simulação com duas folhas intituladas *Resultados Réplicas* e *Resultado global*. De seguida minimiza o ficheiro excel de modo a poder ser vista a animação da simulação caso esteja ligada.

O código *ModelLogic\_RunEndReplication*, é chamado no fim de cada réplica. Contém duas funções

- *Transfere\_Resultados\_Para\_Excel\_Fim\_Replica*;
- *Transfere\_Resultados\_Para\_Excel\_Fim\_Simulacao*;

A função *Transfere\_Resultados\_Para\_Excel\_Fim\_Replica*, transfere a informação das variáveis da réplica para a folha Excel, preenche os títulos e formata corretamente a secção de página *Resultados Réplicas* dedicado a réplica em questão. A informação transferida será explicada mais a fundo na secção 4.2.6.

A função *Transfere\_Resultados\_Para\_Excel\_Fim\_Simulacao*, verifica se aquela réplica é a última da simulação e caso seja, preenche formata e dá títulos às médias da folha *Resultados Réplicas* e à folha *Resultado global*. Depois maximiza a janela do ficheiro Excel de output.

#### 4.2.5.7 Animação

A animação podia ser feita com recurso a módulos do *template Advanced Transfer* do *Arena*, que permite criar estações e mover entidades entre elas definindo percursos. Existem no entanto 105 CPs o que obrigaria ao uso de 105 estações e desenho de percursos entre elas (5565 linhas de percurso). Esta possível maneira de animar o modelo demoraria muito tempo a ser construída e não traria vantagem já que um modelo de animação mais abstrato consegue de igual forma ajudar à compreensão do mesmo.

Optou-se então por criar um código em VBA que movimenta um desenho que representa cada *veículo n* de cada *rota n*, uma certa distância para a direita sempre que a rota começa a efetuar Stops num CP diferente do anterior e no fim da simulação coloca os veículos de novo na sua posição inicial.

O modelo de animação pode ser visto no anexo G.

#### 4.2.6 OutPut

O *output* da simulação é um ficheiro Excel com os resultados da simulação (anexo H). O ficheiro é composto por duas folhas:

- *Resultados Réplicas*
- *Resultado Global*

A folha *Resultados Réplicas* contém uma tabela por réplica chamada *Resultado da Réplica n* (cada réplica representa 1 dia) com informação recolhida em cada réplica da simulação, ordenado por cada rota, nomeadamente:

- Número da rota;
- Número de Stops atribuídos;
- Número de Stops efetuados dentro do horário útil de trabalho;

- Diferença entre número de Stops atribuídos e efetuados dentro do horário útil de trabalho;
- Percentagem de Stops com sucesso (nível de serviço);
- Tempo extra necessário para concluir todas as entregas atribuídas ou tempo de sobra;
- Número de Stops de *CPs Meio Dia* atribuídos;
- Número de Stops de *CPs Meio Dia* efetuados antes do meio dia;
- Diferença entre número de Stops de *CPs Meio Dia* atribuídos e efetuados antes do meio dia;
- Percentagem de Stops com sucesso de *CPs Meio Dia*.

Existe também uma tabela com a média diária por rota da informação anterior chamada *Resultado da Simulação*.

A folha *Resultado Global* contém a tabela *Resultado Global da Simulação* com a seguinte informação:

- Número de dias Simulados;
- Número total de rotas incluídas na simulação;
- Média de Número de Stops atribuídos por dia;
- Média de Número de Stops efetuados dentro do horário útil de trabalho por dia;
- Média da Diferença entre nº de Stops atribuídos e nº de Stops efetuados dentro do horário útil de trabalho por dia;
- Percentagem de Stops com sucesso (nível de serviço);
- Média de Número de Stops atribuídos com *CP Meio Dia* por dia;
- Média de Número de Stops com *CP Meio Dia* efetuados antes do meio dia;
- Diferença entre nº de Stops atribuídos com *CP Meio Dia* e nº de Stops efetuados com *CP Meio Dia* antes do meio dia;
- Percentagem de Stops com sucesso de *CPs Meio Dia*.

A folha apresenta ainda a tabela *Lista das Rotas que Falharam* com a informação sobre as rotas que falharam pelo menos um Stop. Esta lista é ordenada e filtrada para facilitar a pesquisa de uma determinada rota.

#### 4.2.6.1 Análise de sensibilidade

É agora feita uma análise aos parâmetros de velocidade média dentro de cada CP e de tempo de Stop independente do tempo de viagem. Sejam:

$V_1$  = velocidade média dentro de cada CP com área  $\leq 200\text{km}^2$ ;

$V_2$  = velocidade média dentro de cada CP com área  $> 200\text{km}^2$ ;

$V$  = velocidade média dentro de cada CP (considerando  $V_1 = V_2$ );

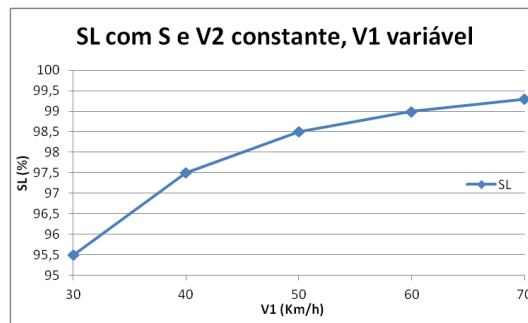
$S$  = tempo de Stop independente do tempo de viagem.

Recorde-se os valores usados nas simulações:

**Tabela 4 - Paramêtros de velocidades e tempo**

Parâmetro	Valor
V1	50km/h
V2	70km/h
S	5min

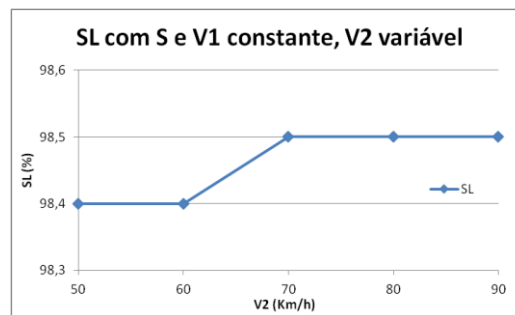
O gráfico seguinte representa o impacto de V1 no SL mantendo todos os outros parâmetros fixos.



**Figura 10 - Impacto de V1 no valor de SL**

Prova-se que o modelo é bastante sensível a este parâmetro e, tendo em conta que é um parâmetro que foi obtido por iteração sem base em nenhum estudo ou dados, pode ter uma grande influência na fiabilidade dos resultados.

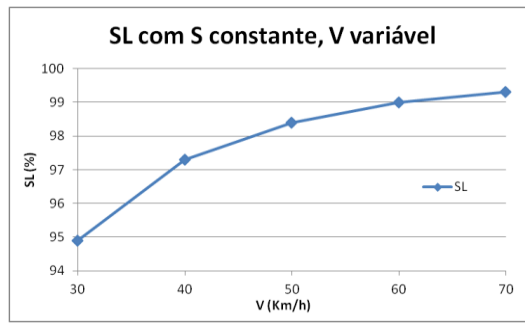
O gráfico seguinte representa o impacto de V2 no SL mantendo todos os outros parâmetros fixos.



**Figura 11 - Impacto de V2 no valor de SL**

O modelo não é muito sensível ao parâmetro V2. A explicação é que não existem muitos CPs com área superior a 200km<sup>2</sup>.

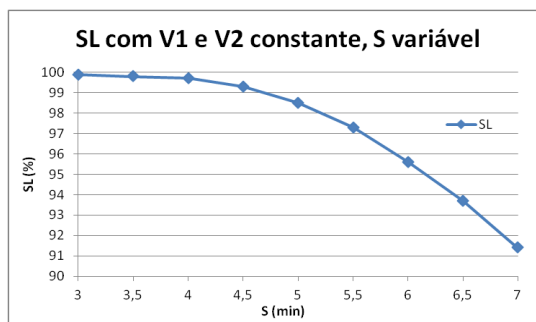
O gráfico seguinte representa o impacto de V no SL mantendo S fixo, ou seja, considera-se uma velocidade média dentro de CPs única sem separação por área do CP.



**Figura 12 - Impacto de V no valor de SL**

No limite, o ideal era ter um modelo que discriminasse uma velocidade média dentro de CP, diferente em cada CP considerado. É extremamente complexo obter esse tipo de dados pelo que foram apenas usadas duas velocidades possíveis. Este gráfico representa a variação de SL, caso só existisse uma velocidade possível de atribuir a cada CP. É notório o impacto do parâmetro V no SL obtido, concluindo-se que a velocidade média dentro dos CPs é um parâmetro altamente influenciador dos resultados obtidos.

O gráfico seguinte representa o impacto de S no SL mantendo todos os outros parâmetros fixos.



**Figura 13 - Impacto de S no valor de SL**

O parâmetro S foi obtido através do conhecimento empírico de colaboradores da Rangel, a resposta "5min" pode ser considerada uma resposta típica para uma medida de tempo curta da qual não há confiança, não havendo nenhum estudo sobre a média e variância deste parâmetro. O valor usado na simulação para este parâmetro não tem qualquer tipo de confirmação factual e é altamente influenciador dos resultados.

## 4.3 Algoritmo

### 4.3.1 Problema

O problema criado é baseado no problema VRP com procura e localização de clientes estocástica e aprendizagem de condutores (2.3.3.1). É um problema VRP com janelas temporais, matriz de distâncias assimétrica. A diferença para um problema VRP normal é que cada CP é considerado um cliente, ou seja, em vez de considerar cada cliente como um ponto onde alguma das rotas tem de passar, considera-se cada CP um ponto onde alguma das rotas tem de passar. A duração de efetuar a entrega/recolha é a soma do tempo de fazer todas as entregas/recolhas, mais o tempo interno de viagem desse CP. O tempo de viagem entre cada CP é definido pela matriz de tempos de viagem entre CPs e as janelas temporais pela definição de CP de entrega até ao fim do dia ou até ao meio dia.

Para resolução do problema foi usado o método aproximado *Tabu search*.

### 4.3.2 Parâmetro de distribuição Normal

O modelo de simulação é estocástico sendo o número de Stops por CP definido como uma média e um desvio padrão. Em oposição, o algoritmo é determinístico, pelo que, o número de Stops em cada CP tem de ser definido como um valor determinístico. Para calcular o tempo de efetuar todas as entregas e recolhas num dado CP a ser inserido no algoritmo, é necessário saber o número de Stops a considerar nesse CP. Para tal usa-se o *parâmetro de distribuição normal*. O cálculo desse valor é feito através da equação 13:

$$\text{Número Stops}_i = \text{Inversa Normal}(x, \tilde{x}_i, \sigma_i) \quad (13)$$

onde *Inversa Normal* representa a função inversa da Distribuição Normal cumulativa,  $x$  representa a probabilidade definida (*parâmetro de distribuição normal*),  $\tilde{x}_i$  a média do número de Stops no CP  $i$  e  $\sigma_i$  o desvio padrão do número de Stops no CP  $i$ .

Clarificando, o *parâmetro de distribuição normal* é definido como a probabilidade de existir um certo número de Stops num dado CP, dada uma distribuição normal com uma média e um desvio padrão de número de Stops nesse CP.

Pela  $I_2$  da Figura 4, ajustou-se este parâmetro sendo o valor final usado 65%.

### 4.3.3 Software

Foi usado um *Open-source framework* chamado *Open VRP* criado por Marc Kuo.

Segundo Darren Govoni, um *framework* é definido como:

"Um *framework* é uma coleção abstrata de classes, interfaces e padrões com o objetivo de resolver uma classe de problemas através de uma arquitetura flexível e extensível." Ou seja, é um conjunto de códigos de programação que permite a resolução não só de um único problema mas de toda uma classe de problemas que tem algo em comum.

O *framework Open VRP* tem por base a linguagem de programação Common lisp (CLISP) e permite a modelação e resolução de problemas do tipo TSP/VRP básicos e muitas das suas variantes mais complexas. Dentro das variantes incluem-se problemas com entregas e recolhas, problemas com *time windows*, problemas com limitação de capacidade de carga dos veículos, problemas com uma frota de veículos heterogéneos a nível de capacidade de carga, problemas reais (com matriz de distância assimétrica), possibilidade de definir a duração de cada entrega/recolha e as várias combinações possíveis entre estes sub-tipo de problemas. O *Framework* inclui ainda uma ferramenta para criação de *plots* das rotas finais ou de cada iteração do algoritmo.

O *Open VRP* permite construir algoritmos de forma simples e rápida aproveitando as bibliotecas, objetos e coleção de códigos já criados. É possível alterar, acrescentar código às implementações já existentes ou juntar partes diferentes da coleção de código para criar um novo algoritmo ou escrever o algoritmo do zero, usando os objetos e bibliotecas existentes. Atualmente a única implementação existente é o *Tabu search*.

Esta plataforma foi desenvolvida com o objetivo de servir como ferramenta para estudantes, investigadores académicos, trabalhadores ou simplesmente como um *hobby*. A visão do criador é nas suas próprias palavras:

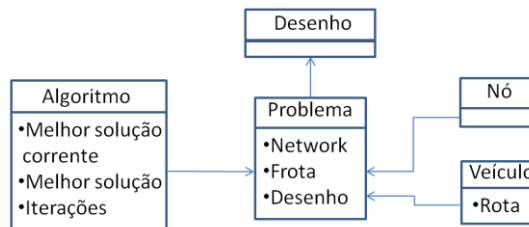
"With this framework, I hope to catalyze the research and application of routing solutions. Researchers in innovative new algorithms should not need to fiddle in the Eclipse debugger screen. They should be able to focus all their energy and effort in devising their heuristics. OR

(Operation Research) should be kept fun and engaging. The ultimate vision for Open VRP is a simple intuitive toolkit for the OR community, free for anyone."

Neste projeto não foi alterado ou criado nenhum algoritmo, foi apenas usada a implementação já existente do *Tabu search* para resolução do problema proposto.

#### 4.3.3.1 Visão geral

A Figura 14 representa um esquema geral do modo como deve ser usada esta ferramenta.



**Figura 14 - Esquema geral ferramenta de apoio à decisão**

É criado um *problema*, constituído por uma *network* (conjunto de nós) e uma *frota* (conjunto de veículos) e opcionalmente pode conter o *desenho* (coordenas 2D de cada nó). Esse *problema* é resolvido por um *algoritmo*, que ao longo das iterações guarda a *Melhor solução corrente* e a *Melhor solução*. A *Melhor solução* é definida pela função *Fitness* que é a soma da(o) distância(tempo) percorrido(usado) por todas as rotas. O *output* desse algoritmo é uma rota atribuída a cada veículo. No final, pode optar-se por criar um desenho das rotas (linhas que unem o conjunto de pontos ou nós pertencente a essa rota).

#### 4.3.3.2 Classes

De seguida são descritas as várias classes existentes no *Open VRP*

**Problem** (Problema) - É uma classe usada tanto para descrever um problema como para a solução de um problema. Os seus elementos são: *Nome*, *Descrição* (opcional), *Network* ou seja conjunto de nós (a *network* pode ser substituída por uma matriz de distâncias simétrica ou assimétrica), *Frota*, *Desenho*, *To-depot* (elemento booleano que determina se no fim os veículos voltam ao depósito ou não) e *Log-mode* (0,1, define se as soluções intermédias vão sendo imprimidas ou se só a solução final),

**Node** (Nó) - É uma classe que representa os clientes, constituída pelos seguinte elementos: *id* (identificador do nó), *coordenada x* e *y* (podem ser substituídas pela matriz de distâncias), *procura* (elemento opcional usado para CVRP), *início* e *fim* (elemento opcional usado para VRPTW), *duração* (elemento opcional que define quanto tempo demora a servir aquele nó)

**Vehicle** (Veículo) - É uma classe constituída pelos seguinte elementos: *Id*, *Rota* (a rota atribuída aquele veículo que num problema não resolvido será nula), *Capacidade* (elemento opcional usado para CVRP), *velocidade* (por defeito 1 ou seja os inputs são tempo e não distâncias)

**Algo** (Algoritmo) - É uma classe que representa o algoritmo usado para resolver o problema e é constituída pelos seguinte elementos: *nome*, *descrição* (opcional), *número de iterações máximo*, *melhor solução corrente*, *melhor solução*, *best-fitness* (valor da função fitness da melhor solução).

**Drawer** (desenho) - é uma classe que não será explorada a fundo nesta dissertação.

#### 4.3.3.3 Biblioteca

É um conjunto de códigos que serve para gerar problemas e correr os algoritmos criados. A biblioteca com mais relevo é a *Solver.Lisp* que contém métodos para correr algoritmos nomeadamente:

**Solve-prob** - tem como output a solução de um problema sendo dado como input um Problema e um Algoritmo.

**Multi-run** - Corre um algoritmo múltiplas vezes, tem como output a melhor solução ou todas as soluções, sendo dados como input um número inteiro e um *Solve-Prob*. É possível também obter médias desvios padrão da função fitness e tempo de solução das soluções obtidas.

#### 4.3.3.4 Parâmetros do algoritmo *Tabu search*

**Iterations** - Este parâmetro define o número de iterações máximo. No caso de existir uma *Stopping-condition* antes do número de iterações máximo o algoritmo será interrompido prematuramente. O parâmetro *Stopping-condition* será definido mais a frente.

**Tabu-tenure** - Define o comprimento da *Tabu-list*. Baixar o comprimento pode facilitar a pesquisa de mínimos locais mas aumenta a probabilidade do algoritmo ficar preso numa solução que não é ótima. Um valor mais elevado pode excluir movimentos úteis por um número de iterações demasiado longo, mas é bom para escapar de mínimos locais. Deve ser dada grande relevância a este parâmetro, pois altera muito a qualidade da solução e o valor ideal varia muito de problema para problema.

**Tabu-parameter-f** - A função que define que parâmetros do movimento serão usados como restrições a colocar na *Tabu-list*. Por exemplo pode ser colocado na *Tabu-list* o nó  $x$  o que significa que serão impedidos todos os movimentos que usem o nó  $x$ . Ou pode usar-se o nó  $x$  e o veículo  $y$  o que significa que não podem existir movimentos em que o nó  $x$  seja transferido para o veículo  $y$ . De momento a única implementação é a restrição do nó  $x$ .

**Move-type** - define o tipo de movimentos. Por defeito é usado o *TS-best-insertion-move* que é até agora o único *move-type* implementado no *Open VRP*.

**Init-heur** - Define a heurística de construção de solução inicial. Por defeito é usada a *Greedy Best Insertion*.

**Aspirationp** - Variável Booleana. Se o valor da variável for Verdadeiro, quando uma solução melhor que a melhor solução atual existente é alcançada através de um movimento que está na *Tabu-list* a *Tabu-List* é reescrita de modo a ser possível tal movimento. Se o valor for Falso tal não acontece. Por defeito esta variável é Verdadeira.

**Elite-listp** - Variável Booleana que define o uso ou não de uma lista elite de candidatos. Numa iteração  $x$ , são estudados todos os movimentos e escolhido apenas o melhor dos movimentos válidos. Na iteração seguinte ( $x + 1$ ) são de novo estudados todos os possíveis movimentos, sendo que muitos dos movimentos da iteração  $x$  serão de novo encontrados. Isto resulta em dupla computação de dados. Para evitar este fenómeno é criada uma lista elite de candidatos com os movimentos válidos que melhoram a solução da iteração anterior à atual, isto acelera a pesquisa, principalmente numa fase inicial em que o conjunto de movimentos possível é enorme. Por defeito este parâmetro é Verdadeiro.

**Stopping-condition** - Define uma ou mais condições para terminar as iterações antes do seu número máximo ser atingido. Pode não existir nenhuma condição. A condição usada por

defeito é que um certo número de iterações tenham ocorrido sem que a *Melhor Solução* tenha sido melhorada. É útil usar o *Stopping-condition* em caso de ser usado o *multi-run*.

#### 4.3.4 Método usado

Os *inputs* do *solve-prob* são um *Problem* e um *Algo*.

Dentro do *Problem* os *inputs* são:

- *Número máximo de veículos*;
- *A lista de time windows*;
- *A matriz de distâncias*;
- *Duração de cada nó*;
- *Log-mod*;

O *número máximo de veículos* é 100, número suficientemente grande para não afetar nenhum dos problemas estudados.

A *lista de time windows* é feita de acordo com os CP normais e os CPs de entrega até ao meio dia.

A *matriz de distâncias* é a mesma que na simulação.

A duração de cada *nó* (ou seja de cada CP) é calculada pela seguinte equação:

$$D_i = \text{Número Stops}_i \times T_i \quad (14)$$

onde  $D_i$  é a duração do CP  $i$ ,  $\text{Número Stops}_i$  é o número de Stops no CP  $i$  calculado na equação (13) e  $T_i$  é o tempo médio de fazer um Stop no CP  $i$  calculado na equação (4).

O *log-mod* foi escolhido como 1 em situações iniciais para acompanhar a evolução das iterações e confirmar visualmente se faz sentido, numa fase posterior foi escolhido zero para acelerar o processo.

Dentro do *Algo* os *inputs* são:

- *Algoritmo*;
- *Número máximo de iterações*;
- *Tabu-tenure*;
- *Stopping-condition*;

No *multi-run* os parâmetros são iguais, sendo apenas adicionado o número de *runs* pretendido. Existe a opção de ter como *output* apenas o melhor resultado em termos de função *fitness* ou um *output* mais completo com a média e desvio padrão de todos os resultados e tempos de processamento para além do melhor resultado obtido.

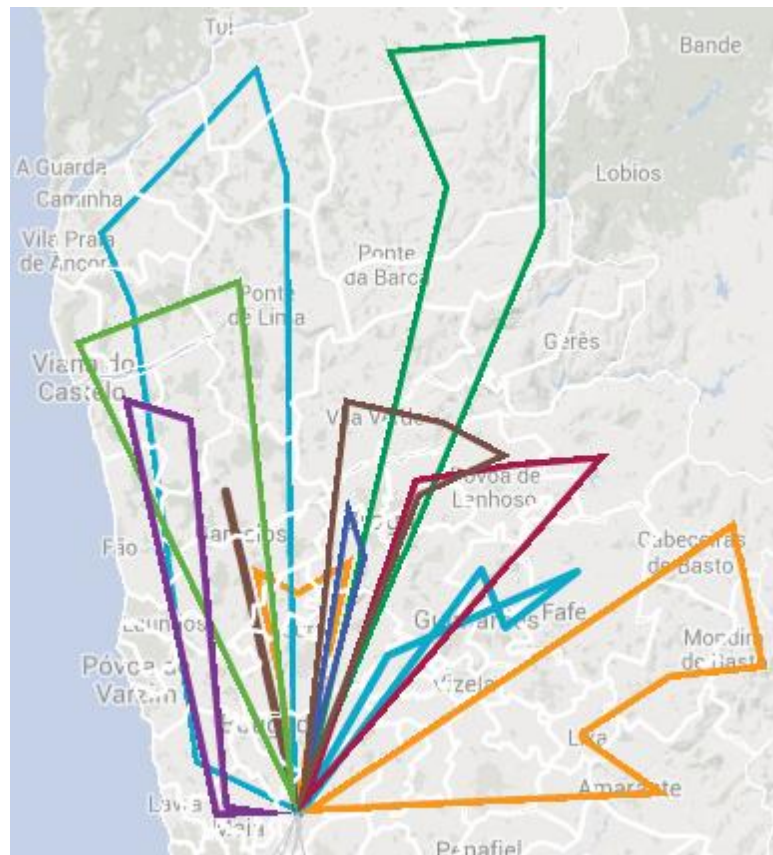
Optou-se por usar o *multi-run* com 200 *runs*, o *número máximo de iterações* de 1000, *tabu-tenure* de 20 e o critério de paragem de 60 iterações sem melhoria.

Todos os restantes valores referidos durante a descrição do *software* não foram alterados sendo usado o valor por defeito.

## 5 Resultados e discussão

### 5.1 Comparação Rotas atuais com Rotas geradas por algoritmo

Apresenta-se de seguida as 35 rotas geradas pelo algoritmo. Para facilitar a visualização, as rotas foram divididas em quatro mapas: Rotas a norte do depósito, Rotas ao centro do depósito, Rotas ao centro e sul do depósito e Rotas a sul do depósito. Figura 15 representa o mapa das rotas geradas por algoritmo a norte do depósito, a Tabela 5 contém o número, nome, cor representada no mapa e as zonas por onde passam cada rota do mapa anterior. Os mapas e tabelas das rotas ao centro do depósito, centro e sul do depósito e a sul do depósito estão no anexo I respetivamente Figura 28, Figura 29 e Figura 30 (mapas) e Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14 (tabelas).



**Figura 15 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas a norte do depósito)**

**Tabela 5 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas a norte do depósito)**

Nº e cor da rota	Percurso							
5	Depósito	CP4900	CP4990	Depósito				
6	Depósito	CP4980	CP4960	CP4950	CP4970	Depósito		
7	Depósito	CP4765	CP4820	CP4810	CP4800	Depósito		
15	Depósito	CP4705	CP4700	Depósito				
17	Depósito	CP4470	CP4935	CP4905	CP4740	Depósito		
18	Depósito	CP4710	CP4830	CP4850	CP4710	Depósito		
21	Depósito	CP4860	CP4880	CP4890	CP4615	CP4600	Depósito	
22	Depósito	CP4730	CP4720	CP4830	CP4715	Depósito		
27	Depósito	CP4760	CP4755	CP4775	CP4705	Depósito		
31	Depósito	CP4940	CP4930	CP4920	CP4910	CP4925	CP4485	Depósito
33	Depósito	CP4750	Depósito					

O algoritmo encontrou uma solução que gera um nível de serviço de 98,5% usando 35 rotas e um tempo total de viagem entre CP de 34h:00m:01s. Comparando a solução atual com a solução gerada pelo algoritmo conclui-se que, mantendo o mesmo nível de serviço, é possível reduzir o número de rotas em 5 (12,5%) e o tempo total de viagem em 5h:51m:56s (14,7%). A tabela seguinte resume estes dados.

**Tabela 6 - Comparação solução atual vs gerada por algoritmo**

	Solução Atual	Solução gerada por algoritmo	Diferença absoluta	Diferença percentagem
<b>Número de rotas</b>	40	35	5	12,5%
<b>Tempo total de viagem entre CPs</b>	39h:51m:57s	34h:00m:01s	5h:51m:56s	14,7%

Não será apresentado o cálculo de possível poupança a nível monetário pois como foi referido na seção 3.2 o cálculo de remuneração dos motoristas é tratado caso a caso e, embora exista uma linha de pensamento coerente na maneira de negociar os contratos, não há nenhum *standard* criado.

## 5.2 Comparação Sem novo Cliente vs. Com novo Cliente

O nível de serviço calculado contando com o cliente Geodis foi de 98,5% e o nível de serviço calculado sem o cliente Geodis foi de 98,6%. Conclui-se assim que este cliente não tem impacto considerável no nível de serviço, pelo que não é necessário contratar mais motoristas ou alterar rotas.

## 6 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Os problemas do tipo VRP, embora já muito explorados, continuam a ser alvo de inovação, tendo aparecido em anos recentes novas variantes, alternativas e formas de resolução diferentes. No campo académico pensam-se novos problemas e formas de resolução, enquanto que no sector da distribuição expresso usam-se os conhecimentos académicos para desenvolver complexos e detalhados algoritmos que são aplicáveis à realidade do sector. O algoritmo desenvolvido permite dar uma resposta ao problema de otimização de rotas no sector da distribuição expresso ao nível tático.

O uso de *software* de otimização de rotas apoiado pelas tecnologias telemáticas é cada vez mais essencial no sector da distribuição expresso e em muitos outros. A melhoria da qualidade de serviço, a variedade de serviços possíveis de implementar e a redução de custos são as grandes vantagens deste tipo de *software* que exige no entanto um investimento inicial elevado difícil de suportar por algumas empresas. A decisão sobre a implementação deste tipo de tecnologias e *software* tem necessariamente que envolver toda a estrutura da empresa e partir de uma decisão de topo. Esta dissertação tem informação que pode ajudar a gestão de topo da empresa a tomar uma decisão de avançar ou não com um projeto de implementação deste tipo de ferramentas.

A simulação é cada vez mais usada no apoio à decisão por parte de empresas de muitos sectores variados. É uma ferramenta poderosa que permite estudar possíveis cenários futuros e concluir quais vantagens e desvantagens de cada um.

Não sendo necessário um grande nível de detalhe na fase tática de planeamento é possível acrescentar mais pormenor ao algoritmo tal como a divisão de entregas e recolhas em vez de serem todas aglomeradas em Stops. É possível no futuro criar algoritmos que respondam à necessidade de otimização das rotas de arrasto e que deem suporte à tomada de decisão sobre que zonas pertencem a cada plataforma, eliminando assim as "zonas cinzentas".

O modelo de simulação desenvolvido neste projeto pode tornar-se mais completo tendo de ser sempre completado pelo algoritmo usado, incluindo por exemplo a separação de Stops em entregas e recolhas. Esta ferramenta possibilita também o estudo da entrada de grandes clientes. Sendo um dos próximos projetos da Rangel o transporte de carga da Rangel Transitários (que embora faça parte do grupo Rangel será visto como um cliente de grande dimensão), pode ser feito o estudo da utilidade e fiabilidade da ferramenta aplicando-a a previsões sobre a entrada desse cliente.

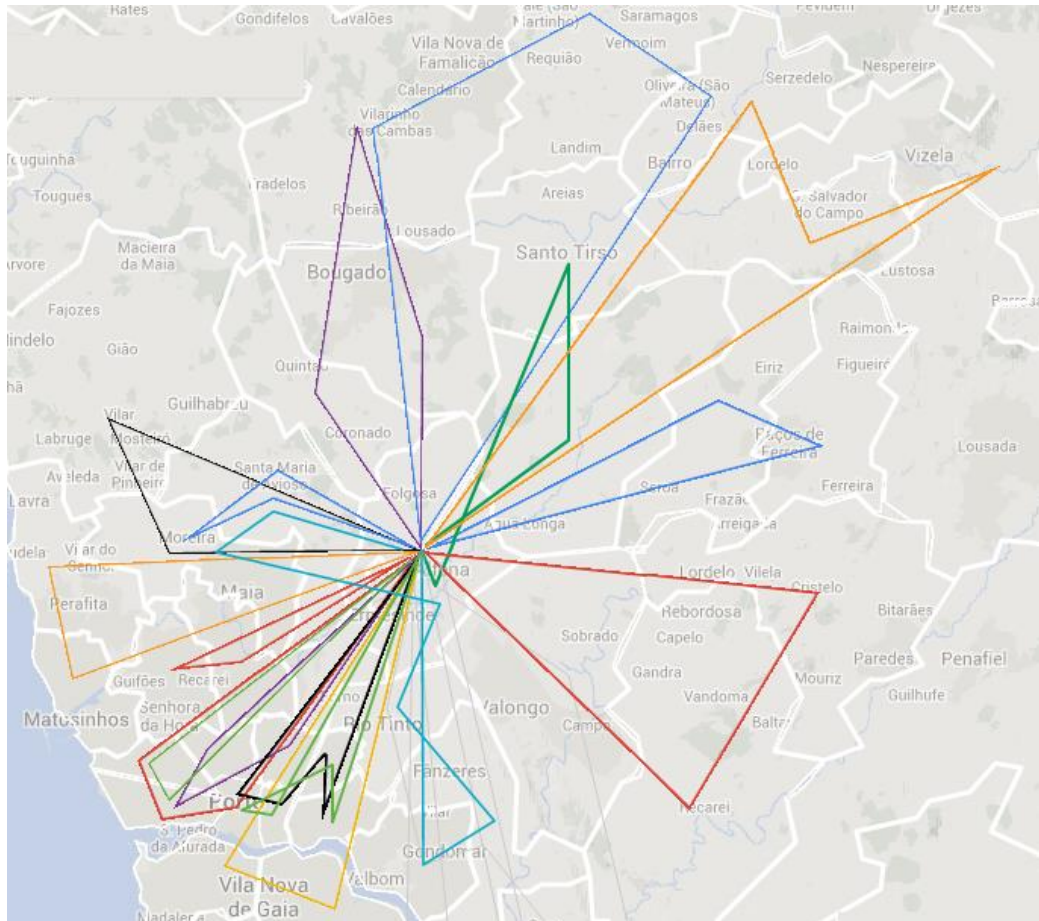
As ferramentas desenvolvidas neste projeto necessitam de *inputs* fidedignos para se poder confiar nos seus *outputs*. É necessário desenvolver o sistema de informação da empresa (GCOM2+) dar formação aos colaboradores sobre o seu uso correto e garantir que os dados estão a ser inseridos no sistema da forma mais proveitosa. Uma das falhas desta ferramenta é que o tempo médio por Stops num dado CP é baseado num modelo teórico e não em dados históricos da empresa. O sistema atual não permite a obtenção deste tipo de dados de forma correta devido ao uso desapropriado dos PDAs por parte dos motoristas. Outras informações são também difíceis de obter devido à estrutura do GCOM2+. De referir que existem oportunidades de melhoria na automatização de preenchimento de relatórios e outro tipo de tabelas necessárias no dia-a-dia da empresa.

## Referências

- Arena 13.5. Rockwell Automation.
- Bianchi, Leonora. 2000. *Notes on Dynamic Vehicle Routing – The State of the Art*. Dalle Molle Institute for Artificial Intelligence.
- Burke, Edmund K. e Graham Kendall. 2005. *Search Methodologies: introductory tutorials in optimization*. New York: Springer Science+Business Media.
- Carić, Tonči, Ante Galić, Juraj Fosin, Hrvoje Gold e Andreas Reinholz. 2008. "A Modelling and Optimization Framework for Real-World Vehicle Routing Problems." Em *Vehicle Routing Problem*, editado por Tonci Caric e Hrvoje Gold, 142. InTech.
- Crainic, T. 1987. "Operations research models of intercity freight transportation: The current state and future research issues." *Logistics and Transportation* no. 23.
- Dantzig, G. B. e J. H. Ramser. 1959. "The truck Dispatching problem." *Management Science* no. 6 (1):80-91. Acedido a agosto 2009. <http://www.jstor.org/discover/10.2307/2627477?uid=3738880&uid=2&uid=4&sid=21104714472083>.
- The Economic Impact of Express Carriers in Europe*. 2011. Oxford Economics. Acedido a agosto 2009. [http://www.euroexpress.org/uploads/ELibrary/EEA\\_RA2011\\_LR.pdf](http://www.euroexpress.org/uploads/ELibrary/EEA_RA2011_LR.pdf).
- Estudio Sectores Portugal de DBK Mensajería y Paquetería*. 2013. DBK. Acedido a agosto 2009. [http://www.dbk.es/pdf/sectoresportugal/sumarios/Mensajer%C3%ADa%20y%20Paqueter%C3%ADa%20\(Portugal\).pdf](http://www.dbk.es/pdf/sectoresportugal/sumarios/Mensajer%C3%ADa%20y%20Paqueter%C3%ADa%20(Portugal).pdf).
- Gonçalves, Tiago Galiza. 2010. *Otimização de rotas na Rangel Expresso, SA*. Porto: [s. n.].
- Janice, Partyka e Randolph Hall. 2012. "Software Survey Vehicle Routing " *OR/MS Today* no. 39 (1). Acedido a agosto 2009. <https://www.informs.org/ORMS-Today/Public-Articles/February-Volume-39-Number-1/Software-Survey-Vehicle-Routing>.
- Kasemsontitum, Boontariga. 2006. "Vehicle routing with time windows and driver learning". Ph.D., University of Southern California. <http://search.proquest.com/docview/304968021?accountid=43623>.
- Kelton, W. David, Randall P. Sadowski e David T. Sturrock. 2004. *Simulation with Arena*. Vol. 3rd ed, McGraw-Hill Series in Industrial Engineering and Management Science. Boston [etc.]: McGraw-Hill Higher Education.
- Konrad, Alex. 2013. "Meet ORION, software that will save UPS millions by improving drivers' Routes". *Forbes*. Acedido a agosto 2009. <http://www.forbes.com/sites/alexkonrad/2013/11/01/meet-orion-software-that-will-save-ups-millions-by-improving-drivers-routes/>.
- Toth, P. e D. Vigo. 2002. *The vehicle routing problem*. SIAM monographs on discrete mathematics and applications. Philadelphia: SIAM - Society for Industrial & Applied Mathematics.

- Wang, Chen. 2012. "New Approaches for Routing Courier Delivery Services". Ph.D., University of Southern California. <http://search.proquest.com/docview/1289086776?accountid=43623>.
- Zhong, Hongsheng. 2001. "Territory planning and vehicle dispatching with stochastic customers and demand". Ph.D., University of Southern California. <http://search.proquest.com/docview/276192231?accountid=43623>.

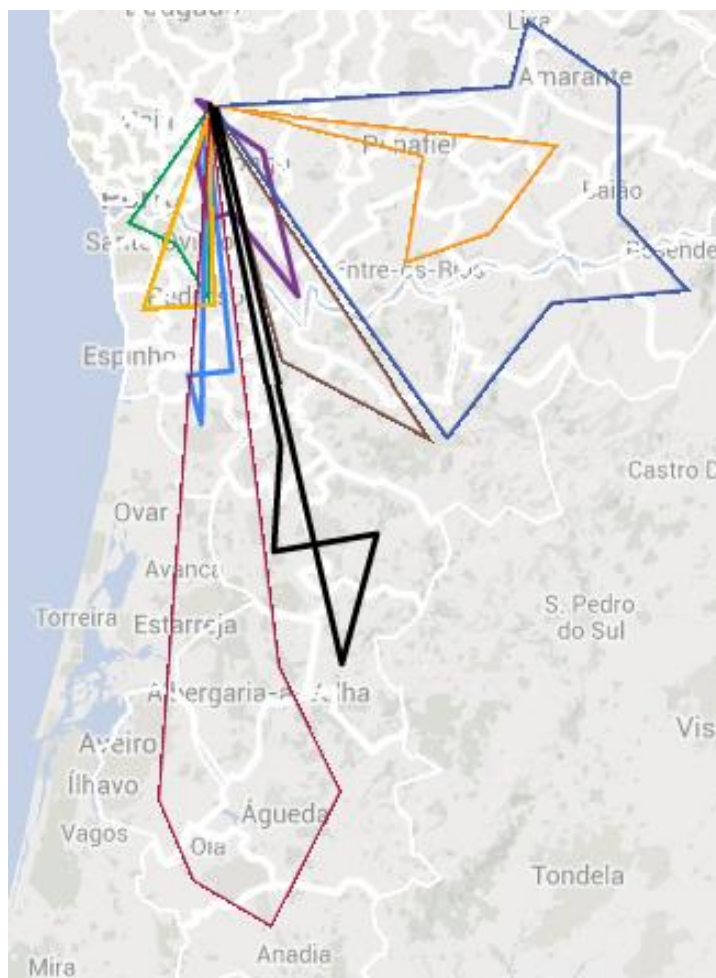
**ANEXO A: Rotas atuais**



**Figura 16 - Rotas atuais (Rotas ao centro do depósito)**

**Tabela 7 - Rotas atuais (Rotas ao centro do depósito)**

Nº e cor da rota	Nome	Percurso
2	P0119	depósito CP4000 CP4050 CP4350 CP4300 depósito
7	P0215	depósito CP4100 CP4150 CP4050 depósito
8	P0219	depósito CP4250 CP4150 CP4200 depósito
9	P0229	depósito CP4150 CP4100 depósito
11	P0319	depósito CP4450 CP4450 CP4455 depósito
12	P0329	depósito CP4595 CP4590 depósito
14	P0502	depósito CP4745 CP4760 CP4785 depósito
17	P0609	depósito CP4485 CP4470 depósito
21	P0803	depósito CP4765 CP4770 CP4760 depósito
22	P0804	depósito CP4445 CP4780 CP4825 depósito
23	P0809	depósito CP4475 CP4470 CP4475 depósito
27	P1002	depósito CP4580 CP4585 depósito
30	PI510	depósito CP4460 CP4465 CP4460 CP4465 depósito
31	PI525	depósito CP4400 CP4430 depósito
33	PI550	depósito CP4765 CP4795 CP4815 depósito
37	PI610	depósito CP4050 CP4000 CP4350 CP4300 depósito
39	PI830	depósito CP4420 CP4510 CP4435 CP4445 CP4470 CP4475 CP4425 depósito



**Figura 17 - Rotas atuais (Rotas a sul do depósito)**

**Tabela 8 - Rotas atuais (Rotas a sul do depósito)**

Nº e cor da rota	Nome	Percurso
5	P0209	depósito CP4400 CP4430 CP4415 depósito
6	P0210	depósito CP4505 CP4535 CP4520 depósito
13	P0501	depósito CP4425 CP4445 CP4440 CP4515 CP4510 CP4420 CP4435 depósito
28	P1004	depósito CP4605 CP4615 CP4600 CP4640 CP4660 CP4690 CP4550 depósito
29	PI500	depósito CP4560 CP4575 CP4625 CP4630 CP4635 depósito
32	PI530	depósito CP4540 CP4525 depósito
35	PI580	depósito CP4415 CP4410 CP4405 depósito
38	PI620	depósito CP3810 CP3770 CP3780 CP3750 CP3850 depósito
40	PI835	depósito CP3700 CP3720 CP3730 CP3740 depósito

**ANEXO B: Lista de CPs da plataforma do Porto com entrega até ao meio dia**

**Tabela 9 - Lista de CPs da plataforma do Porto com entrega até ao meio dia**

<b>CP</b>
4000
4050
4100
4150
4425
4445
4450
4460
4465
4470
4475

**ANEXO C: Matriz de tempos de viagem entre CPs****Tabela 10 - Matriz de tempos de viagem entre CPs**

	Depósito	CP 3700	CP 3720	CP 3730	CP 3740	CP 3750	CP 3770	CP 3780	CP 3800	CP 3810	...
Depósito	0	1870	1866	2765	3088	3284	3090	3180	3666	3188	...
CP 3700	1805	0	246	992	1868	2372	2178	2268	2672	2277	...
CP 3720	1723	172	0	330	1151	1319	1125	1215	2175	1224	...
CP 3730	2585	978	417	0	990	2356	2502	2592	3552	2600	...
CP 3740	2869	1927	1040	994	0	622	1328	1201	3087	1403	...
CP 3750	3296	2578	1482	2281	711	0	634	286	3515	1260	...
CP 3770	3011	2194	1195	2443	1509	621	0	0	3253	619	...
CP 3780	3021	2204	1206	2454	1347	263	0	0	3263	629	...
CP 3800	3493	2557	2244	3492	3234	3430	3236	3326	0	3306	...
CP 3810	3135	2317	1319	2567	1474	1245	611	701	3269	0	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

**ANEXO D: Lista da área de cada CP da plataforma do Porto****Tabela 11 - Lista da área de cada CP da plataforma do Porto**

CP	Área (km <sup>2</sup> )	CP	Área (km <sup>2</sup> )	CP	Área (km <sup>2</sup> )	CP	Área (km <sup>2</sup> )	CP	Área (km <sup>2</sup> )
3700	58,4	4420	15,1	4535	22,3	4690	231	4815	36,1
3720	149	4425	27	4540	328	4700	35,3	4820	189
3730	151	4430	27,2	4550	108	4705	71,2	4825	63,7
3740	129	4435	14,6	4560	135	4710	29,7	4830	130
3750	331	4440	57,7	4570	44,5	4715	44,6	4850	224
3770	91,6	4445	20,5	4575	105	4720	81,5	4860	188
3780	217	4450	12,1	4580	57,8	4730	199	4880	165
3810	53,7	4455	22,5	4585	89,1	4740	103	4890	154
3850	55,7	4460	13,6	4590	32,6	4745	29	4900	50,9
4000	2,8	4465	13,8	4595	38,6	4750	140	4905	116
4050	3,45	4470	24,8	4600	209	4755	133	4910	115
4100	5,59	4475	33,5	4605	37	4760	89,6	4920	101
4150	7,15	4480	75,6	4610	46,8	4765	30,6	4925	130
4200	5,47	4485	74,3	4615	51	4770	84	4930	113
4250	5,19	4490	14,1	4620	99,1	4775	36,9	4935	54,1
4300	6,76	4495	23,1	4625	58,9	4780	36,2	4940	133
4350	3,9	4505	37,9	4630	59,4	4785	42,5	4950	208
4400	13,4	4510	29,1	4635	53,9	4795	35,9	4960	238
4405	21,5	4515	57,8	4640	55,7	4800	65,3	4970	448
4410	30,4	4520	68,3	4650	39,4	4805	123	4980	184
4415	72	4525	59,2	4660	123	4810	33,7	4990	318

**ANEXO E: Folha de Excel input da simulação**

Dados de Input	
Preencher campos a verde	
Tempo de 1 dia de trabalho (h)	6,5
Tempo até meio dia(h)	3
Tempo de Stop independente do tempo de viagem (min)	5

**Figura 18 - Dados de Input (Ficheiro InputSimulação)**

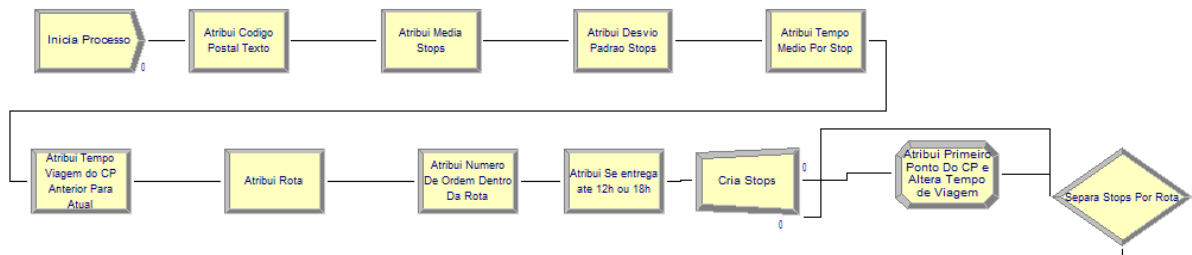
Lista de Rotas										
Rota	Número CPs	CPs								
1	5	Depósito	CP4925	CP4990	CP4940	Depósito				
2	6	Depósito	CP4000A	CP4050A	CP4350A	CP4300A	Depósito			
3	5	Depósito	CP4705A	CP4710A	CP4700A	Depósito				
4	6	Depósito	CP4485A	CP4935	CP4905	CP4740	Depósito			
5	5	Depósito	CP4400A	CP4430A	CP4415A	Depósito				
6	5	Depósito	CP4505	CP4535	CP4520	Depósito				
7	5	Depósito	CP4100A	CP4150A	CP4050C	Depósito				
8	5	Depósito	CP4250	CP4150C	CP4200	Depósito				
9	7	Depósito	CP4150B	CP4100B	Depósito					
10	9	Depósito	CP4900	CP4910	CP4920	CP4930	Depósito			
11	8	Depósito	CP4450A	CP4450B	CP4455	Depósito				
12	9	Depósito	CP4595	CP4590	Depósito					
13	9	Depósito	CP4425A	CP4445A	CP4440	CP4515	CP4510A	CP4420A	CP4435A	Depósito
14	9	Depósito	CP4745	CP4760A	CP4785	Depósito				
15	9	Depósito	CP4480	CP4570	CP4495	CP4490	Depósito			
16	9	Depósito	CP4750	CP4755	CP4775	Depósito				
17	9	Depósito	CP4485B	CP4470B	Depósito					
18	9	Depósito	CP4890	CP4810A	CP4830A	CP4850	Depósito			
19	9	Depósito	CP4980	CP4960	CP4950	CP4970	Depósito			
20	8	Depósito	CP4705B	CP4710B	CP4700B	Depósito				
21	9	Depósito	CP4765A	CP4770	CP4760B	Depósito				
22	9	Depósito	CP4445C	CP4780	CP4825	Depósito				
23	9	Depósito	CP4475C	CP4470C	CP4475B	Depósito				
24	9	Depósito	CP4715	CP4710C	CP4700C	Depósito				
25	9	Depósito	CP4815A	CP4810B	CP4800A	CP4830B	Depósito			
26	7	Depósito	CP4730	CP4720	CP4820	CP4860	CP4880	Depósito		

**Figura 19 - Lista de Rotas (Ficheiro InputSimulação)**

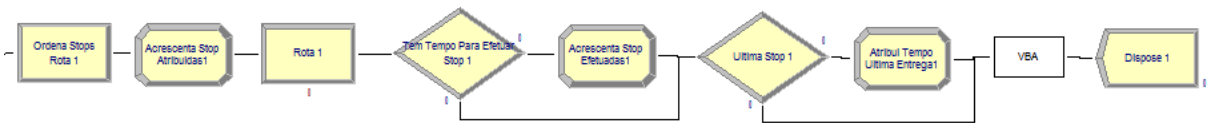
<b>Dados CPs</b>					
CP	Média Stops	Desvio Padrão Stops	CP Meio Dia?	Area CP(Km2)	velocidade media(km/h)
CP3700	11,6	6,3	0	58,4	50
CP3720	11,2	5,0	0	149	50
CP3730	2,2	1,6	0	151	50
CP3740	0,5	0,7	0	129	50
CP3750	6,8	3,6	0	331	50
CP3770	5,8	2,1	0	91,6	50
CP3780	2,4	1,5	0	217	50
CP3810	4,3	1,2	0	53,7	50
CP3850	2,0	1,3	0	55,7	50
CP4000A	12,1	2,8	1	2,8	50
CP4000B	20,5	4,8	0	2,8	50
CP4050A	18,6	4,0	0	3,45	50
CP4050B	11,9	2,5	1	3,45	50
CP4050C	4,4	0,9	0	3,45	50
CP4100A	14,7	2,8	1	5,59	50
CP4100B	29,7	5,7	0	5,59	50
CP4150A	15,2	4,2	0	7,15	50
CP4150B	13,2	3,7	1	7,15	50
CP4150C	4,1	1,1	0	7,15	50
CP4200	25,6	8,4	0	5,47	50
CP4250	15,2	2,6	0	5,19	50
CP4300A	6,5	2,1	0	6,76	50

**Figura 20 - Dados CPs (Ficheiro Input Simulação)**

**ANEXO F: Modelo de simulação no *Arena***

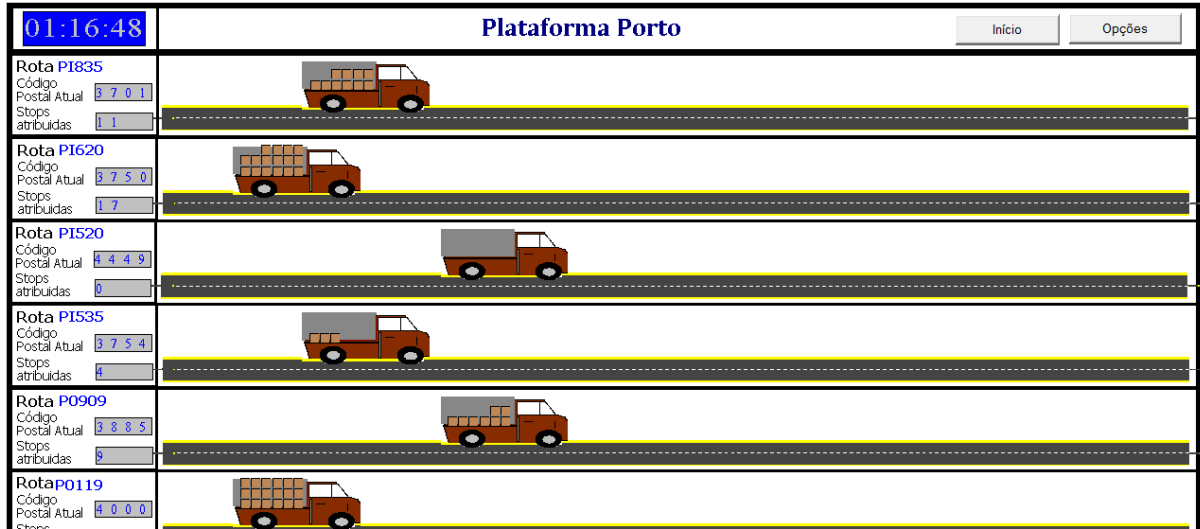


**Figura 21 - Detalhe gerar stops e detalhe atribuir os stops a cada rota do modelo de simulação**



**Figura 22 - Detalhe processar stops**

**ANEXO G: Animação do modelo de simulação no *Arena***



**Figura 23 - Animação do modelo de simulação**

## ANEXO H: Folha de Excel output da simulação

Resultado Simulação									
Rota	Stops Atribuidos	Stops Efetuados	Diferença	SL	Tempo Extra Necessário ou tempo de sobra (h)	Stops Meio Dia Atribuidos	Stops Meio Dia Efetuados	Diferença	SL Meio Dia
1	23,8	23,8	0	100,0%	-1,81	8,8	8,8	0,0	100,0%
2	40,2	40,2	0	100,0%	-3,56	0,0	0,0	0,0	
3	45,2	45,2	0	100,0%	-2,33	0,0	0,0	0,0	
4	40,2	40,2	0	100,0%	-1,81	0,0	0,0	0,0	
5	33,5	33,5	0	100,0%	-3,63	0,0	0,0	0,0	
6	51,2	51,2	0	100,0%	-1,75	0,0	0,0	0,0	
7	32,5	32,5	0	100,0%	-3,91	0,0	0,0	0,0	
8	42,8	42,8	0	100,0%	-3,37	0,0	0,0	0,0	
9	44,8	44,8	0	100,0%	-3,29	13,4	13,4	0,0	100,0%
10	30,9	30,9	0	100,0%	-2,04	0,0	0,0	0,0	
11	52,5	52,5	0	100,0%	-2,65	0,0	0,0	0,0	
12	35,2	35,2	0	100,0%	-3,52	0,0	0,0	0,0	
13	46,9	46,9	0	100,0%	-2,28	0,0	0,0	0,0	
14	40,5	40,5	0	100,0%	-2,89	11,2	11,2	0,0	100,0%
15	50,9	50,9	0	100,0%	-2,12	0,0	0,0	0,0	
16	45,5	45,3	0,18	99,6%	-1,62	0,0	0,0	0,0	
17	41,2	41,2	0	100,0%	-3,61	0,0	0,0	0,0	
18	18,1	18,1	0	100,0%	-1,88	0,0	0,0	0,0	
19	21,1	21,1	0	100,0%	-1,65	0,0	0,0	0,0	
20	30,9	30,9	0	100,0%	-3,22	0,0	0,0	0,0	
21	53,7	53,7	0	100,0%	-1,90	0,0	0,0	0,0	
22	27,4	27,4	0	100,0%	-4,15	0,0	0,0	0,0	
23	38,8	38,8	0	100,0%	-3,65	0,0	0,0	0,0	
24	24,4	24,4	0	100,0%	-3,63	0,0	0,0	0,0	
25	44,2	44,2	0	100,0%	-2,01	0,0	0,0	0,0	
26	35,9	34,1	1,8	95,0%	-0,47	0,0	0,0	0,0	
27	38,9	38,9	0	100,0%	-2,84	0,0	0,0	0,0	
28	28,3	28,3	0	100,0%	-2,45	0,0	0,0	0,0	
29	33,8	33,6	0,14	99,6%	-2,13	0,0	0,0	0,0	
30	50,8	50,8	0	100,0%	-3,11	0,0	0,0	0,0	
31	37,8	37,8	0	100,0%	-3,53	0,0	0,0	0,0	
32	20,2	20,2	0	100,0%	-3,03	0,0	0,0	0,0	

Figura 24 - Resultado Simulação (Folha "Resultados Réplicas" do ficheiro Output da simulação)

Resultado da Réplica 1									
Rota	Stops Atribuidos	Stops Efetuados	Diferença	SL	Tempo Extra Necessário ou tempo de sobra (h)	Stops Meio Dia Atribuidos	Stops Meio Dia Efetuados	Diferença	SL Meio Dia
1	36	36	0	100,0%	-0,68	9	9	0	100,0%
2	52	52	0	100,0%	-2,94	0	0	0	
3	41	41	0	100,0%	-2,67	0	0	0	
4	33	33	0	100,0%	-2,39	0	0	0	
5	35	35	0	100,0%	-3,64	0	0	0	
6	51	51	0	100,0%	-1,78	0	0	0	
7	29	29	0	100,0%	-4,19	0	0	0	
8	63	63	0	100,0%	-2,27	0	0	0	
9	39	39	0	100,0%	-3,70	12	12	0	100,0%
10	33	33	0	100,0%	-2,04	0	0	0	
11	51	51	0	100,0%	-2,74	0	0	0	
12	33	33	0	100,0%	-3,75	0	0	0	
13	47	47	0	100,0%	-2,34	0	0	0	
14	27	27	0	100,0%	-3,88	13	13	0	100,0%
15	56	56	0	100,0%	-1,82	0	0	0	
16	29	29	0	100,0%	-3,06	0	0	0	
17	40	40	0	100,0%	-3,74	0	0	0	
18	19	19	0	100,0%	-1,80	0	0	0	
19	17	17	0	100,0%	-2,13	0	0	0	
20	28	28	0	100,0%	-3,49	0	0	0	
21	53	53	0	100,0%	-2,03	0	0	0	
22	40	40	0	100,0%	-3,24	0	0	0	
23	43	43	0	100,0%	-3,47	0	0	0	
24	34	34	0	100,0%	-3,04	0	0	0	
25	47	47	0	100,0%	-1,88	0	0	0	
26	35	35	0	100,0%	-0,41	0	0	0	
27	20	20	0	100,0%	-4,45	0	0	0	
28	30	30	0	100,0%	-2,32	0	0	0	
29	30	30	0	100,0%	-2,60	0	0	0	
30	54	54	0	100,0%	-2,97	0	0	0	
31	39	39	0	100,0%	-3,51	0	0	0	
32	19	19	0	100,0%	-3,19	0	0	0	

Figura 25 - Resultado da Réplica 1 (Folha "Resultados Réplicas" do ficheiro Output da simulação)

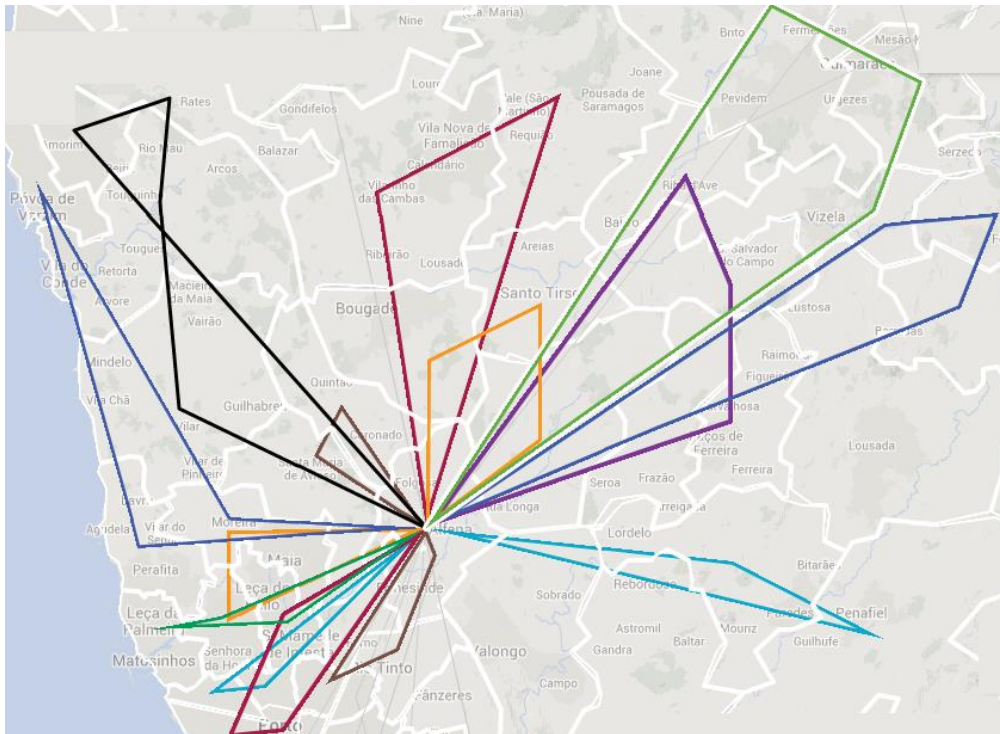
Resultado Global da Simulação	
Nº de dias Simulados	50
Nº de rotas	40
Média Nº de Stops atribuidos/dia	1460,3
Média Nº de stops efetuados/dia	1458,2
Diferença	2,1
Percentagem de stops com sucesso	99,9%
Média Nº de Stops Meio Dia atribuidos/dia	123,4
Média Nº de stops Meio Dia efetuados/dia	123,4
Diferença	0,0
Percentagem de stops com sucesso Meio Dia	100,0%

Figura 26 - Resultado Global da Simulação (Folha "Resultados Global" do ficheiro Output da simulação)

Lista das Rotas que Falharam									
Lista de Rotas que falharam	Stops Atribuidos	Stops Efetuado	Diferença	SL	Tempo Extra Necessário ou tempo de sobra (h)	Stops Meio Dia Atribuidos	Stops Meio Dia Efetuados	Diferença	SL Meio Dia
16	45,5	45,32	0,18	99,6%	-1,62	0	0	0	
26	35,94	34,14	1,8	95,0%	-0,47	0	0	0	
29	33,78	33,64	0,14	99,6%	-2,13	0	0	0	

Figura 27 - Lista das Rotas que Falharam (Folha "Resultados Global" do ficheiro Output da simulação)

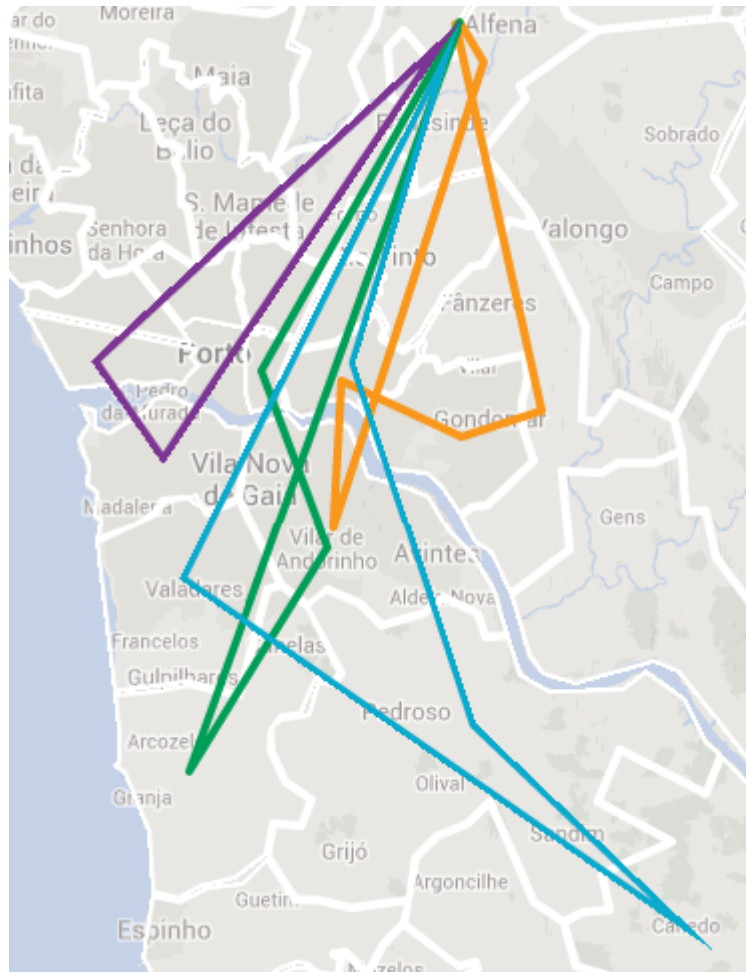
**ANEXO I: Rotas geradas por algoritmo**



**Figura 28 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas ao centro do depósito)**

**Tabela 12 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas ao centro do depósito)**

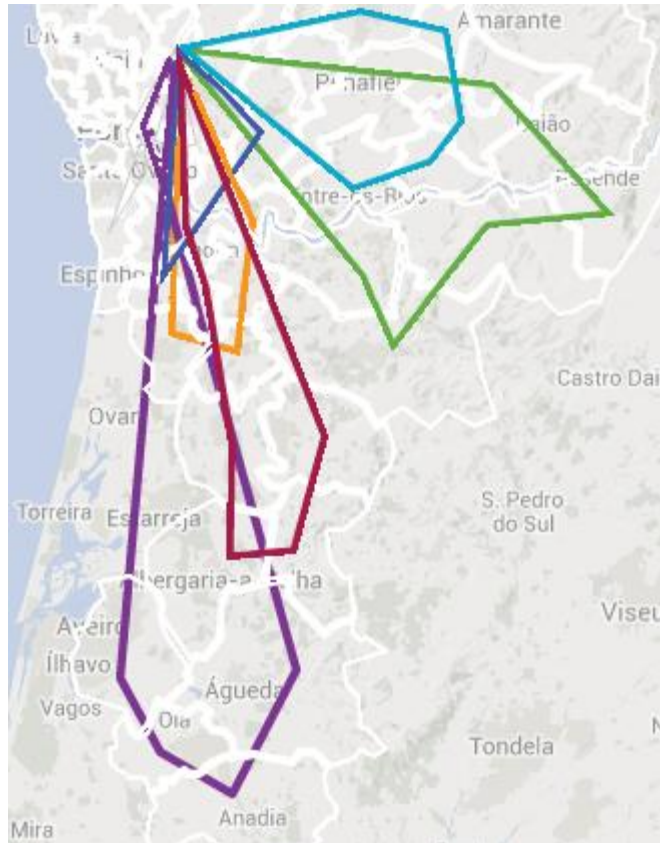
Nº e cor da rota	Percurso					
1	Depósito	CP4815	CP4810	CP4805	Depósito	
2	Depósito	CP4100	CP4250	Depósito		
3	Depósito	CP4470	CP4490	CP4455	Depósito	
9	Depósito	CP4765	CP4795	CP4590	Depósito	
11	Depósito	CP4785	CP4780	CP4825	Depósito	
14	Depósito	CP4200	CP4435	CP4445	Depósito	
19	Depósito	CP4465	CP4150	CP4050	Depósito	
20	Depósito	CP4815	CP4610	CP4650	CP4595	Depósito
23	Depósito	CP4485	CP4480	CP4570	CP4495	Depósito
26	Depósito	CP4460	CP4450	CP4465	Depósito	
29	Depósito	CP4470	CP4460	Depósito		
32	Depósito	CP4760	CP4770	Depósito		
34	Depósito	CP4580	CP4560	Depósito		
35	Depósito	CP4425	CP4475	CP4745	Depósito	



**Figura 29 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas ao centro e a sul do depósito)**

**Tabela 13 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas ao centro e a sul do depósito)**

Nº e cor da rota	Percurso							
8	Depósito	CP4445	CP4430	CP4300	CP4420	CP4510	CP4420	Depósito
10	Depósito	CP4000	CP4430	CP4410	Depósito			
13	Depósito	CP4150	CP4400	Depósito				
25	Depósito	CP4300	CP4415	CP4525	CP4405	Depósito		



**Figura 30 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas a sul do depósito)**

**Tabela 14 - Rotas geradas por algoritmo (Rotas a sul do depósito)**

Nº e cor da rota	Percurso
4	Depósito CP4445 CP4540 CP4550 CP4690 CP4660 CP4640 CP4635 Depósito
12	Depósito CP4535 CP4585 CP4440 Depósito
16	Depósito CP4415 CP4505 CP3720 CP3850 CP3740 CP3730 Depósito
24	Depósito CP4620 CP4605 CP4630 CP4625 CP4575 Depósito
28	Depósito CP4515 CP3700 CP4520 Depósito
30	Depósito CP4350 CP3750 CP3780 CP3770 CP3810 Depósito