



Relatório de Estágio

Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel

***DynPublic – Informação Pública com Geração  
Dinâmica***

**João Tiago Pereira Ribeiro**

Leiria, *Setembro* de 2012



Relatório de Estágio

Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel

***DynPublic – Informação Pública com Geração  
Dinâmica***

**João Tiago Pereira Ribeiro**

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Rui Pedro Charters Lopes Rijo,  
Professor(a) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Setembro* de 2012

***À Minha Família***



## ***Agradecimentos***

---

Quero agradecer à Tecmic S.A. por me apontar para a problemática da construção automatizada de horários e mapas. Agradeço aos coordenadores e colegas de trabalho, com quem me cruzei durante o desenvolvimento deste projecto, em especial ao colega João Amaro pela ajuda na revisão da dissertação e pelo apoio e motivação transmitido. Agradeço também ao meu orientador Prof. Doutor Rui Pedro Charters Lopes Rijo pelo apoio nas minhas decisões e pela ajuda na escolha do caminho certo. Não quero deixar também por expressar a minha gratidão ao meu amigo David Mendes pela sua amizade durante os últimos anos e aos meus pais por suportarem os meus estudos e pela coragem transmitida.



## **Resumo**

---

Este documento pretende dar a conhecer todo o trabalho realizado no âmbito do projecto DynPublic - Informação Pública com Geração Dinâmica, proposto pela empresa Tecmic S.A. e inserido no Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel.

O projecto DynPublic insere-se na área de gestão de frotas e o seu objectivo principal é a disponibilização de informação referente ao transporte público de passageiros de uma forma rápida e eficaz. Esta informação inclui horários na paragem, esquemas simplificados da rede, mapas da rede denominados *SpiderMaps* e a avaliação de execução de percursos através da detecção e cálculo de desvios de rota.

Os horários produzidos têm o percurso esquematizado em espinha com identificação da paragem actual, os horários em que a carreira passa na paragem agrupados em época do ano e tipo de dia e contém também alguma informação adicional.

O trabalho resulta na criação de um módulo que funciona como *plugin* para um produto Tecmic S.A., o XTraN Passenger, de onde é obtida a informação dos horários e trajectos dos transportes públicos. No que se refere à avaliação de execução de percursos, existe uma funcionalidade que compara o percurso planeado com o percurso realizado e outra que compara a posição actual com a rota planeada a fim de calcular o desvio de rota geográfica e temporal.

*Palavras-chave:* Tabelas Horárias, Spider Maps, Mapas Esquemáticos, Gestão de Frotas, Transporte Público, Desvio de Rota.



## ***Abstract***

---

This document aims to present all the work done within the project called DynPublic – Public Information with Dynamic Generation, proposed by Tecmic S.A.. The scope of this dissertation is related with the conclusion of my master degree in Computer Science – Mobile Computing.

The DynPublic project is related with the area of fleet management and its main objective is the creation of public information for public transportation networks in a quick and effective way. This information includes bus stop schedules, simplified network diagrams usually named squematic maps and a particular map called SpiderMap and it is also included a route quality evaluation criteria which aims to detect route deviations.

The produced schedules have a simplified representation of the route with the identification of current or reference stop, a bus time table which is grouped by season and also by day type, and additional information.

This work produces a software module capable of being integrated with a Tecmic S.A. product called XTraN Passenger, from which is obtained information about schedules and routes of public transport. For route quality evaluation we compare routes, tracks and waypoints, in order to detect route deviations, including geographical and temporal ones.

*Key-Words:* TimeTable, SpiderMaps, SchematicMaps, Fleet Management, Public Transportation, Route Deviation.



## ***Índice de Figuras***

---

Figura 1 – Diagrama do metro de Londres, adaptado de Henry Beck's (1933). .....	19
Figura 2 – SpiderMap do Marquês de Pombal, Lisboa. ....	21
Figura 3 - Metodologia de investigação utilizada. ....	30
Figura 4 - Integração entre o XTraN Passenger e o módulo DynPublic. ....	42
Figura 5 - Funcionamento da aplicação de geração de horários.....	44
Figura 6 - Exemplo de esquema horário produzido pelo DynPublic. ....	46
Figura 7 - Geometrical vs. Screen Co-ordinate System. ....	47
Figura 8 - Esquema simplificado da versão linear do mapa esquemático.....	48
Figura 9 - Esquema orientado à paragem parametrizado de forma linear.....	49
Figura 10 - Esquema orientado à paragem tendo em conta o ângulo.....	50
Figura 11 - Esquema orientado à paragem tendo em conta o número de ligações.....	51
Figura 12 - Esquema orientado à paragem editado graficamente. ....	52
Figura 13 - Lei de Coulomb. ....	54
Figura 14 - Lei de Hooke.....	54
Figura 15 - Mapa que contém a rota planeada e pontos de interesse. ....	65
Figura 16 - Mapa que contém a rota planeada e um ponto de referência.....	66
Figura 17 - Mapa que contém a rota planeada, o ponto de referência e a tolerância. ....	67
Figura 18 - Relatório resultante da análise de desvio de rota.....	68
Figura 19 - Mapa contendo as rotas planeadas e executadas. ....	69
Figura 20 - Mapa que contém as rotas e a área de tolerância espacial. ....	70
Figura 21 - Relatório resultante da análise de desvio.....	71
Figura 22 – Técnica de Meta-Optimizador.....	81
Figura 23 - Sistema de LoopFeedback. ....	82



## ***Índice de Quadros***

---

Tabela 1 - Gama de produtos Tecmic S.A.....	2
Tabela 2 - Horário orientado à carreira. ....	16
Tabela 3 - Horário orientado à paragem.....	16
Tabela 4 - Riscos técnicos existentes. ....	38
Tabela 5 - Critérios de avaliação dos resultados obtidos.....	61
Tabela 6 - Estatísticas da solução. ....	72
Tabela 7 - Características dos datasets utilizados.....	80
Tabela 8 - Tarefas por concluir.....	88



## ***Lista de Siglas***

Ao longo deste documento são utilizadas abreviaturas de designações comuns apenas apresentadas aquando da sua primeira utilização:

<b>Acrónimo</b>	<b>Significado</b>
API	Application Programming Interface.
CENTERIS	Conference of ENTERprise Information Systems.
CSV	Comma Separated Values.
DAL	Data Access Layer.
Desvio de Rota	É o desvio do veículo de um percurso pré-estabelecido, incluindo desvio geográfico e/ou temporal.
DLL	Dynamic-link library.
Doc	Representação de um arquivo de editor de texto.
DynPublic	Informação Pública com Geração Dinâmica.
ESTG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria.
Excel	Microsoft Office Excel.
GIS	Geographic Information Systems.
GML	Geography Markup Language.
GPS	Global Positioning System.
GPX	GPS eXchange Format.
GTFS	General Transit Feed Specification.
GUI	Graphical User Interface.
HTML	HyperText Markup Language.
IPL	Instituto Politécnico de Leiria.
KML	Keyhole Markup Language.
LBS	Location Based Systems.
Metadata	Meta dados.

Microsoft Report Viewer	Aplicação de geração de relatórios com integração com a plataforma de desenvolvimento Microsoft Visual Studio.
OPT	Optimização e Planeamento de Transportes S.A.
PDF	Portable Document Format.
PDF	Portable Document Format.
PNG	Portable Network Graphics.
PT	Public Transportation ou Transportes Públicos.
Route	Define um caminho através de pontos sequencialmente ordenados, vulgarmente são a definição de um percurso a realizar ou planeado.
SGBD	Sistema de Gestão de Base de Dados.
SI	Sistemas de Informação.
SO	Sistema Operativo.
Solução	Microsoft Visual Studio Solution - Um conjunto de projectos e configurações onde um dos projectos é definido como principal, sendo este que inicia.
STCP	Sociedade de Transportes Colectivos do Porto.
SVG	Standard Vector Graphics.
TECMIC S.A.	Tecnologias de Microelectrónica, S.A.
Threshold	Tolerância.
Track	Define um caminho através de pontos sequencialmente ordenados, no entanto este é vulgarmente resultante do registo do caminho efectuado.
UTC	Coordinated Universal Time.
UTM	Universal Transverse Mercator.
Waypoint	Define um ponto no mapa através de uma coordenada em graus no formato WGS84 e a elevação em metros e os tempos em UTC.
XML	Extensible Markup Language.

# Índice

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>XV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 IDENTIFICAÇÃO DA ENTIDADE DE ACOLHIMENTO – TECMIC S.A. ....	1
1.2 PROJECTO DYNPUBLIC .....	2
1.3 MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS .....	3
1.4 RESULTADOS OBTIDOS E DIVULGAÇÃO .....	4
1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO .....	4
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>7</b>
2.1 GESTÃO DE FROTAS .....	7
2.2 TECNOLOGIA GPS .....	9
2.3 INFORMAÇÃO HORÁRIA .....	12
2.4 INFORMAÇÃO DE ROTAS .....	14
2.5 HORÁRIOS .....	15
2.6 MAPAS ESQUEMÁTICOS .....	17
2.7 SPIDERMAPS .....	20
2.8 FORCE-DIRECTED ALGORITHMS .....	22
2.9 DESVIO DE ROTA .....	25
2.10 APLICAÇÕES EXISTENTES .....	26
2.11 RESUMO E CONCLUSÕES .....	27
<b>3 PROJECTO DE INVESTIGAÇÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>4 ANÁLISE</b> .....	<b>33</b>
4.1 ENQUADRAMENTO .....	33
4.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	35
4.3 REQUISITOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS .....	36
4.4 RISCOS TÉCNICOS .....	37
<b>5 IMPLEMENTAÇÃO</b> .....	<b>41</b>
5.1 BOAS PRÁTICAS DE IMPLEMENTAÇÃO .....	43
5.2 ARQUITECTURA FUNCIONAL .....	44
5.3 HORÁRIOS .....	45
5.4 MAPAS ESQUEMÁTICOS .....	46

5.5	SPIDERMAPS .....	53
5.5.1	O ALGORITMO .....	53
5.5.2	PARAMETRIZAÇÃO .....	55
5.5.3	PSEUDO-CÓDIGO .....	59
5.5.4	FUNÇÃO DE AVALIAÇÃO .....	60
5.5.5	O PROTÓTIPO .....	61
5.6	DESVIO DE ROTA .....	62
5.6.1	PROBLEMA .....	62
5.6.2	OBJECTIVOS.....	62
5.6.3	IMPLEMENTAÇÃO .....	63
5.7	ANÁLISE FINAL .....	72
5.7.1	DECISÕES TOMADAS .....	72
5.7.2	DESAFIOS ENCONTRADOS.....	73
<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
6.1	INTEGRAÇÃO DYNPUBLIC - XTRAN PASSENGER .....	75
6.2	HORÁRIOS.....	77
6.3	SPIDERMAPS .....	77
6.4	DADOS DE TESTE .....	79
6.5	LIMITAÇÕES DA PARAMETRIZAÇÃO.....	80
6.6	DESVIO DE ROTA .....	82
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>83</b>
7.1	SINTESE DA DISSERTAÇÃO .....	83
7.2	HORÁRIOS.....	83
7.3	MAPAS ESQUEMÁTICOS.....	84
7.4	SPIDERMAPS .....	84
7.5	DESVIO DE ROTA .....	85
7.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	85
7.7	LIMITAÇÕES DO TRABALHO REALIZADO.....	87
7.8	DESENVOLVIMENTOS SUBSEQUENTES E PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO.....	87
7.8.1	HORÁRIOS.....	89
7.8.2	MAPAS ESQUEMÁTICOS.....	89
7.8.3	SPIDERMAPS.....	89
7.8.4	DESVIO DE ROTA .....	90
7.9	CONCLUSÃO .....	91
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXO I – PROPOSTA DE TRABALHO CONTENDO OS RESPECTIVOS OBJECTIVOS. ....</b>	<b>107</b>
	<b>ANEXO II – ACTIVIDADES REALIZADAS AO LONGO DO PROJECTO DYNPUBLIC. ....</b>	<b>111</b>
	<b>ANEXO III – GANTT CHART DO TRABALHO DESENVOLVIDO.....</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXO IV – PROTÓTIPOS DA APLICAÇÃO DYNPUBLIC.....</b>	<b>117</b>
	<b>ANEXO V – EXEMPLOS DE DOCUMENTOS PRODUZIDOS PELO DYNPUBLIC.....</b>	<b>121</b>
	<b>ANEXO VI – DIAGRAMAS DE DOMÍNIO. ....</b>	<b>127</b>
	<b>ANEXO VII – RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS AO ALGORITMO FORCE-DIRECTED.....</b>	<b>129</b>
	<b>ANEXO VIII – CASO DE ESTUDO - METRO DE MADRID. ....</b>	<b>145</b>
	<b>ANEXO IX – DIAGRAMAS DE ARQUITECTURA DYNPUBLIC. ....</b>	<b>151</b>

# **1 Introdução**

---

O presente documento pretende sintetizar o trabalho realizado no âmbito do projecto DynPublic, inserido no Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria.

O projecto em causa é denominado DynPublic - Informação Pública com Geração Dinâmica e teve início a 12 de Setembro de 2011, e término a 30 de Setembro de 2012. Um dos seus principais resultados é a geração dinâmica de informação ao público tendo como âmbito os transportes públicos de passageiros.

O projecto foi desenvolvido por João Tiago Pereira Ribeiro, aluno finalista do Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel, sob a orientação do Prof. Doutor Rui Pedro Charters Lopes Rijo.

O presente capítulo começa por descrever a entidade de acolhimento Tecmic S.A., onde foi realizado este trabalho. Segue-se a descrição do projecto DynPublic e identificação da sua motivação e objectivos. São também dados a conhecer os resultados e o capítulo termina com a estrutura do documento.

## **1.1 Identificação da Entidade de Acolhimento – Tecmic S.A.**

A Tecmic S.A. é uma multinacional Portuguesa, com certificação em qualidade, que se dedica desde 1988 a soluções de gestão profissional de frotas e respectivas áreas complementares. Através de inúmeros projectos de investigação e pesquisa a nível europeu, foi possível construir soluções capazes de dar suporte ao negócio. Tendo como principais parceiros empresas como a Vodafone, Motorola, Tele Atlas, INOV e Link.

Para além de Portugal, a Tecmic S.A. opera em países como a Alemanha, Espanha, Áustria, Suíça, a Irlanda, Marrocos e Angola, prevendo-se um volume de negócios de cerca de dois milhões e meio de euros. Actualmente é constituída por cerca de quarenta colaboradores e tem a sua actividade focada no mercado de soluções de gestão e

monitorização de frotas, actuando nas seguintes áreas de mercado:

- Empresas de construção;
- Distribuição e transporte;
- Logística;
- A gestão integrada de recolha de resíduos;
- Gestão de transporte terrestre e marítimo;
- Gestão remota de computadores;
- Gestão de acessos e assiduidade.

Baseados nas áreas de mercado anteriores, a Tecmic S.A. possui uma vasta gama de produtos, como se pretende representar na Tabela 1

**Tabela 1 - Gama de produtos Tecmic S.A.**

<b>Nome Produto</b>	<b>Área</b>
XTraN	Gestão de Frotas
iZi TraN	Gestão de Frotas Online
4Forces	Gestão de Emergências
Siga	Gestão de Acessos
Simor	Monitorização Remota
Ecogest	Gestão de Ecopontos

A Tecmic S.A. tem clientes como a Assembleia da República, Automóvel Club de Portugal (ACP), a Carris, a Luís Simões, a Portugal Telecom, a Unilever, o Banco de Portugal, os Correios de Portugal (CTT), o Exército Português e a Alliance Healthcare o que atesta a vasta aplicabilidade das soluções desta empresa.

A seguinte secção visa introduzir o projecto, enquadrando-o nos produtos e soluções da empresa.

## **1.2 Projecto DynPublic**

O presente projecto intitulado DynPublic foi proposto pela unidade forças de segurança e emergência e transportes de passageiros (FSETP) do departamento de desenvolvimento da Tecmic S.A. e visa ser um módulo a acoplar ao já existente produto XTraN Passenger. Este

produto é uma solução de gestão de frotas direccionada ao transporte público de passageiros, que gere toda a informação relativa ao negócio de Transportes Públicos (PT).

O objectivo principal do DynPublic é produzir de forma automatizada, informação ao público para colocar nas paragens e noutros pontos de interesse ou simplesmente ser disponibilizada electronicamente. Esta informação é apresentada sob a forma de posters, contendo horários e mapas, para dar o contexto temporal e espacial ao passageiro, facilitando assim a visualização dos pontos de paragem e passagem dos PT. Está ainda previsto avaliar a qualidade do percurso realizado, comparando os percursos planeados com os executados.

Pretende-se uma solução capaz de ser competitiva, auxiliando na tarefa de geração de informação ao público, reduzindo o tempo despendido nestas tarefas e ao mesmo tempo produzir um melhor resultado. Com este pressuposto, resulta ainda uma proposta para uma nova abordagem para a geração de mapas de rede intitulados SpiderMaps.

Na secção seguinte são dados a conhecer a motivação e objectivos do projecto.

### **1.3 Motivação e Objectivos**

Nas áreas urbanas de grande dimensão, com elevada densidade populacional, a complexidade dos sistemas de transporte é elevada. Nestas áreas o transporte público é essencial por ser, muitas vezes, a única alternativa viável para o transporte do dia-a-dia.

Os sistemas de transporte público apresentam incerteza associada aos serviços prestados, sendo as principais razões o incumprimento dos horários estabelecidos, falta de serviços de suporte ao negócio, itinerários desadequados, quantidade reduzida de transportes, meios de comunicação de informação deficientes, entre outros. Razões pelas quais os possíveis clientes não acham o transporte atractivo.

Acredita-se que ao disponibilizar mais informação e de melhor qualidade aos utilizadores de transportes públicos, aumenta-se a confiança no transporte público. Por esta razão o objectivo deste trabalho passa por encontrar uma forma de automatizar a geração de horários e mapas esquemáticos da rede de transporte, com a finalidade de guiar e ajudar os passageiros a contextualizarem-se espacialmente. Prevê-se grande vantagem em criar um tipo específico de mapa esquemático denominado *SpiderMap* que tem sido recentemente utilizado para representar os serviços de autocarro que servem uma determinada zona.

É também objectivo deste projecto encontrar uma forma de avaliar a execução dos

percursos, mais concretamente, este objectivo pode resumir-se à comparação do percurso planeado com o efectuado, detectando desvios de rota espaciais e temporais.

O projecto DynPublic abrange diferentes áreas, tendo algumas delas uma forte componente de investigação, como a construção dos SpiderMaps e outras uma componente mais orientada à área de engenharia aplicada, como é o caso do cálculo de desvio de rotas e a produção de horários. O documento descreve ambas, sendo que o Cap. 3 se refere ao projecto na sua componente de investigação, onde é dada a conhecer a metodologia de investigação aplicada a todas as áreas com mais ou menos enfoque na área de investigação.

Como resultado deste projecto é espectável que as empresas de transportes, nomeadamente clientes da Tecmic S.A., tenham maior visibilidade junto dos seus clientes e consequentemente mais competitivas em relação às empresas concorrentes, proporcionando um melhor serviço, automação de tarefas, redução de erros e maior agilidade nos processos.

Em seguida são dados a conhecer os resultados mais relevantes deste trabalho na secção intitulada resultados obtidos e divulgação.

## **1.4 Resultados Obtidos e Divulgação**

O trabalho realizado ao longo da dissertação resultou em:

Artigo científico com o tema Fast Automatic Schematics for Public Transport Spider Maps submetido e aceite na conferência internacional *Conference of ENTERprise Information Systems 2012 (CENTERIS 2012)*, realizada de 3 a 5 de Outubro de 2012, em Vilamoura, Portugal;

O produto resultante deste trabalho foi incluído numa proposta para um cliente Angolano, sendo certo que o seu desenvolvimento irá ser retomado a fim de serem efectuadas alterações solicitadas pelo cliente e ajustes finais;

O produto resultante deste trabalho foi incluído no portefólio da empresa, sendo apresentado aos clientes aquando a candidatura a novos projectos.

A próxima secção têm por objectivo introduzir a estrutura do documento.

## **1.5 Estrutura do Documento**

Este documento está estruturado em sete capítulos. No presente capítulo o objectivo passou por introduzir a dissertação, iniciando com uma apresentação sumária da empresa, seguida

da apresentação do projecto DynPublic, incluindo a sua motivação e objectivos e conclui com os resultados obtidos.

O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura referente a todas as áreas inerentes ao trabalho, terminando com um resumo e conclusões.

O Capítulo 3 dá ênfase ao projecto, caracterizando-o como de investigação, onde é dada a conhecer a metodologia utilizada.

O Capítulo 4 retrace o trabalho de análise, onde é dado a conhecer a definição do problema, seguindo-se os requisitos e concluindo com os riscos técnicos.

O Capítulo 5 refere-se à implementação do módulo DynPublic, neste capítulo estão presentes detalhes de implementação.

O Capítulo 6 intitulado resultados dá a conhecer os testes realizados assim como os resultados produzidos confrontando alguns problemas detectados.

O Capítulo 7 finaliza os capítulos anteriores com uma conclusão global do trabalho e a apresentação das propostas subsequentes a este trabalho e propõe trabalho futuro.



## 2 *Revisão da literatura*

---

Este capítulo visa dar a conhecer o trabalho realizado no âmbito de investigação e na indústria, englobando as áreas afectas aos objectivos do projecto.

As principais áreas relacionadas com o problema são a gestão de frotas, construção de mapas e esquemas, *Global Positioning Systems* (GPS) e cálculo do desvio de rota.

A terminar este capítulo, será feita uma pequena síntese sobre a revisão da literatura, realçando os aspectos mais importantes que foram focados e fazendo a sua síntese.

### **2.1 Gestão de Frotas**

Esta secção começa por introduzir a temática de gestão de frotas com um enquadramento dos transportes e da sua problemática. É dado a conhecer a sua história desde o surgimento da necessidade da sua existência até à actualidade, apontando os seus principais objectivos e as temáticas que são actualmente alvo de estudo.

Desde os primeiros tempos da sua existência que o homem reconheceu a necessidade de se deslocar entre variados lugares, sendo que a esta necessidade damos o nome de transporte. Os primeiros meios de transporte usavam a tracção animal e após a revolução industrial, passaram a ser motorizados.

O transporte divide-se em várias modalidades, sendo elas Terrestre, Aquática e Aérea. A modalidade que estamos a analisar é a Terrestre que se subdivide quanto à forma em: Rodoviário, Ferroviário e Oleoduto, focando-se este trabalho na forma Rodoviária.

Os transportes são uma necessidade diária, tanto os de mercadorias como os de passageiros. Com recurso a tecnologia actual para monitorizar as frotas de veículos, é possível controlar o seu correcto funcionamento.

Este trabalho está focado no transporte público de passageiros. Se olharmos para a história constatamos que o primeiro sistema de transporte público organizado surgiu em Paris no

ano de 1662, inventado por Blaise Pascal [1]. O seu nome era *omnibus*, que significava “para todos” em Latim. Até aos dias de hoje houve uma grande evolução e hoje falamos vulgarmente em horários, mapas, sistemas de navegação, sistemas de gestão de frotas, entre outros termos.

No âmbito de PT os horários na paragem, esquemas e mapas encontram-se em utilização global, sendo de destacar em primeiro lugar o de Londres, depois o de França, Alemanha, Suíça e o de Espanha pela dimensão e quantidade de utentes. Este tipo de informação é essencial para o bom funcionamento do sistema de transporte, em que os horários dão aos passageiros informação temporal e os mapas dão informação espacial.

A gestão de frotas tem quatro objectivos principais, sendo eles:

1. Maximizar o tempo de uso dos veículos;
2. Maximizar a capacidade de utilização dos veículos;
3. Minimizar a quilometragem ao optimizar as rotas;
4. Minimizar o número de veículos usados.

A gestão de frotas surgiu com o objectivo de controlar o transporte de bens entre locais, de modo a garantir a boa gestão dos recursos, de garantir o seu correcto funcionamento, promover a redução dos custos, e garantir também a sua supervisão/monitorização e segurança [2, 3]. A gestão é comumente realizada por suporte informático, visando eliminar os riscos inerentes ao investimento em veículos, aumentando a produtividade e eficiência das operações.

A frota de transporte depende de vários recursos de grande valor tais como, os tractores, trailers, camiões e condutores. É preciso garantir que estes recursos satisfaçam o desenvolvimento de um conjunto de prazos de entrega eficientes, de modo a manter os veículos e condutores na estrada. É também preciso garantir um bom serviço, satisfazendo o cliente no cumprimento dos prazos de entrega e em bom estado. Para gerir uma frota de veículos é essencial controlar os custos associados à entrega, à manutenção do veículo, ao tempo e espaço despendido. É importante ainda garantir que a segurança do veículo e a sua supervisão são essenciais para o sucesso dos serviços prestados.

Actualmente existem algumas áreas de estudo enquadradas no tema gestão de frotas, como são exemplo as seguintes problemáticas:

- Cálculo das melhores rotas ou rotas desejáveis tendo em conta a otimização por distância, tempo e economia do veículo. Esta tarefa é vulgarmente solucionada através de algoritmos [4, 5];
- Monitorização do estado dos componentes do veículo, como por exemplo o pneus e travões [6];
- Instrução do condutor para que a sua condução resulte na redução dos consumos e do desgaste do motor [7];
- Disposição da carga com recurso a algoritmos que optimizam o espaço disponível e ordenação a carga tendo em conta o percurso a realizar [8];
- Monitorização em tempo real da localização dos veículos, aumentando o controlo sob a frota [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15];
- Detecção de fugas ou desvios de rota em relação ao planeamento efectuado e aferição do motivo, como por exemplo corte de estrada, furto ou necessidade de abastecimento [13].

Nesta secção a temática abordada teve como objectivo contextualizar para a problemática de gestão de frotas, dando a conhecer um pouco da sua história, apontando os seus principais objectivos e as temáticas que são actualmente alvo de estudo. Em seguida é apresentada a tecnologia por de trás da gestão de frotas moderna, o GPS.

## **2.2 Tecnologia GPS**

Desde o início dos tempos, o homem tem procurado descobrir maneiras confiáveis de saber a sua localização e a sua orientação referencial. A título de exemplo, os marinheiros inicialmente seguiam a costa para não se perderem. Só mais tarde, com a aprendizagem de utilização do posicionamento das estrelas como referenciação para se guiarem, passaram a navegar em mar alto. É sabido que os primeiros instrumentos de navegação surgiram da exploração dos mares e terras chamada de era dos descobrimentos, tendo como instrumentos de navegação iniciais a bússola, o sextante e o astrolábio.

Uma vez que quando falamos em localização geográfica, referimo-nos sempre a um espaço e tempo, é notório referir que o cronómetro foi inventado em 1761 por John Harrison.

No início do séc. XX foram inventados sistemas de navegação baseados em comunicações rádio terrestres, tendo sido utilizados na segunda guerra mundial na navegação de tropas

por mar e ar. Estes sistemas apresentavam a desvantagem de não se conseguir ao mesmo tempo precisão e cobertura de vastas áreas.

Com o lançamento do satélite Sputnik em 1957 ficou provada a possibilidade de satélites artificiais poderem ser usadas para navegação. O Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) ao analisar a órbita do satélite russo observou que, devido ao efeito de Doppler, a frequência do sinal de sinal rádio transmitido pelo Sputnik era maior quando o satélite se aproximava e menor quando ele se afastava. Esta observação foi o primeiro passo para reconhecer que o paradeiro de um sujeito na superfície da terra poderia ser determinado utilizando sinais de rádio do satélite.

O Navstar Global Positioning System foi idealizado no Pentágono, em 1973, quando se procurava um sistema de satélite preciso (*error-proof*). Em 1978, o primeiro satélite GPS foi lançado e em 1995 declarou-se o seu pleno funcionamento com 24 satélites. Actualmente é conhecido como Sistema de Posicionamento Global (GPS), e é operado e mantido pelo departamento de defesa dos EUA.

O GPS foi utilizado nos últimos conflitos com participação de tropas americanas, nomeadamente na primeira guerra do Golfo em 1991, Bósnia em 1995, Kosovo em 1999, e Afeganistão em 2001, onde foi evidenciada a extraordinária precisão de acerto em alvos pré definidos. Ainda durante o começo da utilização do GPS, na guerra do golfo, a maioria dos projecteis disparados usavam orientação por laser e a maioria dos mísseis usavam sistemas de *Terrain Contour Matching* (TERCOM), e por vezes os aparelhos que usavam GPS usavam também um sistema inercial complementar, como é o caso dos mísseis Tomahawk [16].

Apesar do GPS ter surgido com objectivos militares, as suas aplicações estendem se muito para além disso, já que o GPS tem potencial para cumprir os requisitos de navegação tanto navais como aéreos ou terrestres. O GPS ao providenciar informação extremamente exacta de posição, velocidade e tempo, permite um cumprimento mais eficiente das tarefas que exijam georeferênciação.

O GPS foi continuamente melhorado até à actualidade, onde a sua utilização é muito vasta e útil, tanto para actividades económicas como navegação, agricultura de precisão, guardas florestais, geólogos, arqueólogos, bombeiros, pescadores como para lazer pelos ciclistas, balonistas, ecoturistas, geocachers, vôo livre ou por aventureiros que queiram apenas orientação durante as suas viagens.

O GPS Americano é detido pelo governo dos EUA e operado através do seu departamento de defesa, não havendo garantias de que numa situação de guerra a disponibilização para uso civil seja mantida. Por essa razão surgiu a necessidade de criar novos sistemas com o mesmo princípio. Encontram-se em funcionamento dois sistemas de navegação por satélite: o GPS americano e o GLONASS russo. Existem também outros sistemas em implementação: o Galileo da União Europeia, Compass Chinês e o *Indian Regional Navigational Satellite System* (IRNSS).

O GPS é constituído por três partes principais, sendo elas: a parte espacial composta por uma constelação activa de 24 satélites, a parte de controlo com cinco estações espalhadas pelo globo terrestre que monitorizam os satélites, vigiando a sua posição no espaço e garantindo que funcionam correctamente; e o segmento do utilizador, que são basicamente os terminais que recebem o sinal GPS.

O sinal GPS contém informação sobre o tempo em que a mensagem foi enviada, informação precisa sobre a órbita (*the ephemeris*) e informação sobre o estado de saúde dos satélites (*the almanac*).

Actualmente as áreas de investigação deste tipo de sistema englobam:

- Mecanismos de melhoramento de precisão através de estações de controlo terrestres, DGPS, A-GPS e Algoritmos [17];
- Mecanismos de minimização dos erros presentes no sistema GPS, produzidos pela ionosfera e troposfera, reflexão em obstáculos, erros de precisão dos relógios do sistema, *Ephemeris Errors*, *Low Number of Visible Satellites*, *Bad Satellite Geometry*, dados meteorológicos, e empastelamento [18, 19, 20];
- Empastelamento (*Jamming*) dos receptores de sinal GPS [21];
- Colmatar a falha do sistema GPS em locais fechados (*indor*), desenvolvendo sistemas complementares ou alternativos [22];
- Mecanismos de poupança de energia nos dispositivos receptores de sinal [23].

A tecnologia GPS está em constante evolução, existindo bastantes trabalhos de investigação sobre o tema.

Em seguida segue-se a análise da literatura referente à representação de informação horária.

## 2.3 Informação Horária

É pretendido que o DynPublic seja ágil, permitindo a integração com outras aplicações. Com essa finalidade, foram implementadas formas de importar e exportar a informação relativa aos horários.

À necessidade de haver um formato de dados para importação / exportação de informação de horários, acresce o objectivo de utilizar um formato normalizado.

Foi escolhido o Google Transit Feed Specification (GTFS). Este formato permite a afixação rápida da rede e horários da empresa no Google Maps.

Esta especificação da Google teve a sua primeira versão a 25 de Setembro de 2006 [24], sendo que a sua última revisão foi efectuada a 2 de Fevereiro de 2012. Esta especificação permite fazer uma importação de dados para o Google Transit, que está desde finais de 2007 totalmente integrado com o Google Maps. É também de destacar o Live Transit Updates disponível desde Junho de 2011 que permite actualizar a informação em tempo real através da especificação GTFS-realtime [25].

O Google Transit é uma ferramenta que permite programar viagens usando os transportes públicos. Os resultados desse planeamento podem então ser consultados no Google Maps. Para que isto seja possível é necessário que as empresas de transportes públicos disponibilizem os dados no formato GTFS. Esta especificação consiste num conjunto de 13 ficheiros [26].

Estes ficheiros apesar de terem a extensão .txt estão em formato *Comma Separated Values* (CSV). O nome dos ficheiros encontram-se listados abaixo, assim como uma pequena descrição de cada um deles. De salientar que os primeiros seis ficheiros listados são os que têm de estar obrigatoriamente na especificação e os outros sete são opcionais:

- agency.txt – Informação sobre a agência ou agências sobre a qual o *feed* tem informação;
- stops.txt – Informação sobre as localizações específicas das paragens dos transportes públicos;
- routes.txt – Este ficheiro contém informação sobre as carreiras, que são conjuntos organizados de viagens (*trips*) apresentados aos utilizadores como um único serviço;

- trips.txt – Este ficheiro contém informação sobre todas as viagens e as carreiras a que pertencem. Uma viagem é uma sequência de duas ou mais paragens percorridas num momento específico;
- stop\_times.txt – Contém todas as horas de chegada e de partida de um veículo, numa viagem, para cada paragem;
- calendar.txt – Especifica os dias da semana a que corresponde determinado serviço. Também especifica a data de entrada em vigor e de fim de exercício desse serviço;
- calendar\_dates.txt – Este ficheiro contém todas as exceções ao ficheiro calendar.txt;
- fare\_attributes.txt – Informação relacionada com o tarifário das diferentes carreiras;
- fare\_rules.txt – Especificação das regras a aplicar aos tarifários;
- shapes.txt – Especifica as regras de desenho para se representar uma determinada linha num mapa;
- frequencies.txt – Contém especificações das frequências de cada veículo que podem ser definidas em vez dos tempos de passagem específicos;
- transfers.txt – Regras para transbordo entre carreiras da rede;
- feed\_info – Contém informação referente ao *feed*, como a sua origem e validade.

Existem ferramentas úteis para quem desenvolve e disponibiliza informação no formato GTFS. Alguns exemplos vêm mencionados na própria página de especificação do GTFS e são o FeedValidator [27] e o ScheduleViewer [28]. O FeedValidator verifica de uma forma rápida e simples se um determinado *feed* respeita a especificação GTFS, e o ScheduleViewer permite visualizar a representação da informação no mapa.

O formato GTFS também é usado além do Google Transit. O PedNav [29], aplicação para o Google Android, tem como input dados o formato GTFS [30]. Esta ferramenta é um assistente pessoal para auxiliar na gestão das viagens a realizar no dia-a-dia.

Uma alternativa ao GTFS é o formato TransXChange [31], utilizado em todo o Reino Unido para troca de horários de transportes públicos. Existe a possibilidade de conversão de ficheiros no formato TransXChange para o formato GTFS através da ferramenta TransXChange2GoogleTransit.

São exemplo da utilização deste formato as seguintes aplicações:

- TimeTablePublisher – É um sistema que permite a manipulação de informação de horários no formato GTFS, permitindo analisar, modificar, transformar informação horária em *timetables* para publicar. A aplicação simplifica e acelera a produção de horários para impressão e colocação na web. Esta ferramenta foi utilizada para aferir se o resultado produzido pelo módulo DynPublic estava correcto, comparando-o com o desta aplicação;
- TransitFeed - é um módulo construído em Python para leitura, validação e escrita de informação horária no formato GTFS;
- GTFS Data Exchange – Plataforma desenvolvida por Jehiah Czebotar com o *feedback* da comunidade GTFS. Recorreu-se a esta plataforma para obtenção de dados de teste [26].

Outro aspecto merecedor de ser analisado está relacionado com o modelo de apresentação dos horários. O trabalho de Pyrga et al analisa o modelo *time-dependent* e o modelo *time-expanded*, tendo concluído que o primeiro é melhor no que respeita a desempenho e é uma solução mais eficaz [32].

Em seguida segue-se a análise da literatura à representação de informação de rota.

## 2.4 Informação de Rotas

O cálculo do desvio de rotas tem como parâmetros a informação temporal e espacial, que define os percursos planeados e efectuados, e também a posição actual. Com estes requisitos, pretende-se escolher uma estrutura de dados que suporte esta informação e que preferencialmente seja utilizada pela maioria dos dispositivos e aplicações. Surgem então três formatos candidatos, sendo apresentados de seguida o GPX, KML e GML.

Exchange Format GPS (GPX) define um esquema de dados em XML para representar informação de GPS (*waypoints*, *routes*, e *tracks*) entre aplicações e serviços Web. Este formato tornou-se um *standard de-facto*, sendo vulgarmente usado por dezenas de programas e dispositivos que trabalham com dados de GPS [33].

Keyhole Markup Language (KML) é um formato usado para exibir dados geográficos num navegador, como Google Earth e Google Maps. É um padrão internacional mantido pelo Open Geospatial Consortium, Inc. (OGC) [34].

O OpenGIS Geography Markup Language Encoding Standard (GML) é uma gramática XML para expressar características geográficas. Serve como uma linguagem de modelação para sistemas geográficos, bem como um formato de intercâmbio aberto. Note-se que o conceito de recurso deste formato é muito geral, permitindo integrar todas as formas de informação geográfica. O GML codifica as geometrias de objectos geográficos como elementos dentro de documentos GML de acordo com o vector do modelo, descrevendo por exemplo, estradas, rios e pontes [35].

Todos estes formatos são definidos em XML e diferem na informação que permitem armazenar uma organização e complexidade própria de cada um. Optou-se por escolher o GPX por ser um *standard de-facto*, estando massificado e pela sua estrutura simples que se baseia em *routes*, *tracks* e *waypoints*. Outra razão da sua utilização foi a existência do plugin GPX Provider [36] que permite a abertura deste formato no SharpMap.

Em seguida é apresentada a análise da literatura referente aos horários.

## **2.5 Horários**

A construção de horários é uma problemática bem conhecida por parte dos investigadores, que a intitulam de *Bus Timetable* ou *Line Schedules*.

Os horários de transportes públicos mostram as horas de passagem nas paragens e os destinos. A definição de uma carreira como uma sequência de paragens orientada, com uma paragem de início e uma de fim faz com que existam comumente uma carreira para um sentido e outra para o sentido inverso.

Os horários podem ter uma organização muito variada, no entanto existem duas formas comumente usadas, sendo apresentadas de seguida.

O horário presente na Tabela 2 é um horário orientado à Carreira, mostra os nomes das paragens ao longo do itinerário em conjunto com a hora de chegada a cada paragem.

**Tabela 2 - Horário orientado à carreira.**

Nome da Carreira		
	Dia em que vigora 2	Dia em que vigora 2
Paragem de Início	6:44	7:30
Paragem de Passagem 1	6:47	---
Paragem de Passagem 2	6:52	7:38
.	.	.
.	.	.
.	.	.
Paragem de Término	7:10	8:03

Este formato contém os nomes das paragens ao longo do itinerário em conjunto com a hora de chegada a cada paragem.

Poderão existir paragens que não aparecem no horário, isto acontece para reduzir a dimensão do horário, no entanto a hora de passagem por essas paragens pode ser estimado com base nos horários das paragens na proximidade. No entanto os seguintes tipos de paragens não podem ser retirados:

1. A primeira e o última paragem da carreira;
2. A paragem mais próxima do local onde é colocado o horário;
3. As paragens por onde a carreira não pára.

O horário presente na Tabela 3 é um horário orientado à Paragem, mostra os nomes das carreiras que passam na paragem e as horas a que passam na paragem a que diz respeito o horário.

**Tabela 3 - Horário orientado à paragem.**

Nome da Paragem		
	Destino	
	Nome da Carreira	Nome da Carreira
7	10, 15	13, 18
8	11, 17	13, 19
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Este tipo de horários tem comumente legendas para indicar em que dias vigoram os horários e para indicar qual a variante de percurso associada a cada hora.

Um grupo de investigadores da universidade de engenharia de Tottori no Japão tem

trabalho realizado neste tema para a construção de uma linguagem de marcação para o desenho de *layouts* de horários [37] e outro trabalho que visou a construção de uma aplicação web para gerar os horários orientados tanto à carreira como à paragem [38].

Em seguida é apresentada a análise da literatura referente aos mapas esquemáticos, incluindo a sua história, evolução, criação e métodos de desenho.

## **2.6 Mapas Esquemáticos**

A esquematização é uma representação simplificada da realidade, sendo este o objectivo dos mapas esquemáticos, ao representar desta forma as estradas e rotas existentes geograficamente. Esta técnica é muito comum, as pessoas fazem frequentemente desenhos geográficos quando pretendem referenciar locais. Estes desenhos, por mais simples que sejam, representam a forma como as pessoas guardam a informação sobre o ambiente que as rodeia, sendo designados por mapas mentais. Os mapas esquemáticos estão portanto relacionados com a transformação de mapas mentais e de instruções verbais num mapa físico. Diferem dos esboços por servirem para representar a parte do ambiente num certo nível de granularidade, enquanto os esboços abrangem um pequeno conjunto de recursos ou apenas uma rota [39].

Quando experimentamos comparar um mapa esquemático com um mapa clássico vemos que a maior parte das localizações não correspondem. O que está correcto é a representação da rede, o mapa apenas diz por que caminhos se pode ir do ponto A ao ponto B. Este mapa consegue capturar o padrão topológico ou a geografia da rede, isto é, a topologia refere-se às figuras que não foram modificadas por estiramento ou torção da superfície, sendo portanto este tipo de mapas equivalente aos clássicos por obedecer à realidade mais de perto.

Estes mapas são bastante generalizados, podendo ser utilizados para representar estradas num sistema de transportes ou noutro qualquer cenário onde se pretendem representar objectos numa rede, como esquemas cartográficos de gás, água ou eléctricos. Quando aplicado em redes de transporte público, obtém-se uma ferramenta visual para comunicação espacial para uma tarefa de orientação mais rápida e segura para os residentes e turistas de uma cidade, especialmente em sistemas de transporte complexos.

A criação destes mapas pode parecer uma tarefa simples, no entanto o seu desenho é bastante complexo, existindo várias técnicas de representação cartográfica para realçar a

informação importante e para melhorar a clareza do conteúdo presente no mapa. Um mapa tem muito trabalho de *design*. A literatura existente actualmente fornece pouca orientação sobre as regras e boas práticas de desenho. É necessário que todas as questões que serão colocadas pelos utilizadores consigam ser respondidas através da compreensão da informação presente no mapa.

Os mapas esquemáticos têm usualmente as rotas desenhadas em linha recta. As linhas variam em direcção fixa, ângulos estilizados, comumente de 45 e 90 graus ou de 30, 60 e 90 graus, ou são meramente simplificados com ângulos arbitrários. Quanto há sobreposições as rotas são separadas por um mínimo de distância ou destacam-se por cores diferentes.

No processo de desenho, as rotas são seleccionadas da rede original e depois são esquematizadas e legendadas. A esquematização das carreiras inclui a simplificação das rotas e deslocamento das suas linhas, sendo que este processo pode ser efectuado de várias formas [40]:

- Manual - O cartógrafo produz desenhos à mão, procurando uma solução agradável graficamente sem perda de informação topológica da rede. O esquema é reajustado até chegar a um estado satisfatório. Esta forma necessita de muito trabalho e torna-se impraticável.
- Assistida – *Software* de desenho suporta os desenhos feitos a computador. Em geral a rede original é digitalizada para ser usada como fundo durante o desenho dos mapas esquemáticos. Este método requer o mesmo grau de cuidado visual como o manual, porque ainda é um procedimento de tentativa e erro, mas os resultados podem ser obtidos mais rapidamente e as tentativas podem ser armazenados.
- Automáticas - Abordagens específicas são utilizadas para automatizar o processo de esquematização. Este método tem a vantagem de gerar resultados de forma facilitada tornando-se uma forma rápida e barata.
- Mecânica – É utilizado um dispositivo através do qual a rede é representada com elásticos coloridos ao longo de uma matriz de pinos. O método não é prático, mas o seu autor (Elroi em 1988) [41], defende que mantém a topologia e características da rede.

O mapa presente na Figura 1 [42] é um exemplo inovador e de sucesso, onde as linhas

estão maioritariamente rectas e não têm correspondência geográfica com a realidade, o que gerou controvérsia, mas que no final deu resultados. De notar que o seguinte mapa foi desenhado manualmente. Este processo removeu os detalhes desnecessários, usou técnicas de melhoramento visual e foi executado por um cartógrafo e *designer* experiente.



**Figura 1 – Diagrama do metro de Londres, adaptado de Henry Beck's (1933).**

Como se pode constatar, o desenho automatizado de mapas esquemáticos é um problema complexo, sendo necessário reunir algoritmos de otimização avançada, conhecer os serviços de transporte, capacidades de desenho e conhecimentos de programação.

O processo de esquematização foi definido por Elroi com três fases principais de manipulação gráfica. Primeiramente as linhas são simplificadas à sua forma mais elementar, em seguida são reorientadas de forma regular para fazer uma grelha, ficando horizontais, verticais ou a 45 graus. Em terceiro, a escala das zonas é ajudada conforme a densidade. A topologia pode não se manter no resultado final, o que é normal na esquematização.

Os primeiro e o segundo passos são a chave do processo de esquematização e a sua automatização tem sido o enfoque do trabalho de muitos investigadores. A simplificação do mapa é utilizada para permitir abstrair os detalhes irrelevantes para a finalidade do mapa reduzindo a carga cognitiva do utilizador do mapa e para simplificar a informação, quando é reduzida a escala do mapa, este passo pode ser feito com recurso ao algoritmo Douglas and Peucker *Line simplification algorithm* (1973) [43]. Outros algoritmos, heurísticas e meta-heurísticas foram utilizados em trabalhos de esquematização como o

Simulated Annealing [44], Gradient Descent approaches [45], Discrete Curve Evolution [46], Grid Fitting Algorithms [47], Force-Directed Algorithms [48, 49, 50], Hill Climber Optimizer [51] e Mixed Integer Linear Programming [52].

No entanto, são necessários alguns cuidados quando simplificamos para evitar a introdução de erros de topologia, podendo recorrer a variantes do algoritmo de Douglas-Peucker [53, 54, 55].

Avelar e Muller (2000) [56] apresentam um algoritmo para a geração automática de mapas esquemáticos de informação vectorial de redes de estradas. Fazendo uso de *Gradient Descent Based Optimization* na tentativa de forçar a rede a cumprir as restrições pretendidas, como a orientação e as distâncias de separação.

O mapa oficial do metro de Madrid adoptou recentemente um formato ortogonal onde existem apenas ângulos a 90 graus. Este acontecimento suscitou interesse e foi analisado, sendo considerado um caso de estudo bastante importante para tomarmos consciência de que na área de *design* e esquematização não existem regras de desenho definidas, mas sim recomendações. É importante tomar as decisões com base na finalidade e problemas identificados tendo sempre como base uma análise junto do público-alvo (ver Anexo VIII).

Nesta secção a temática abordada pretendeu enfatizar a problemática do desenho e esquematização de mapas, dando a conhecer um pouco da sua história e evolução ao longo dos tempos, métodos de desenho e um caso de estudo que salienta a dificuldade da tarefa de esquematização. Na próxima secção é dado a conhecer um tipo específico de mapa esquemático intitulado SpiderMap.

## 2.7 SpiderMaps

Os *SpiderMaps* são um tipo de mapas esquemáticos utilizado por exemplo no transporte público de Londres, onde um diagrama esquemático de serviços contém os traçados dos transportes de uma dada localidade. São montados geralmente junto às paragens para permitir aos potenciais viajantes seleccionar o percurso a efectuar. Pretende ser auto-explicativo e de rápida compreensão.

O nome está relacionado com a representação dos traçados em linhas com nós (*tree with nodes*) [40]. Temos como exemplo mapas em Londres [57, 58, 59] e mapas em São Francisco [60]. Na Figura 2 está presente um SpiderMap da empresa de transportes Carris publicado em Julho de 2012, situado na Marquês de Pombal, Lisboa [61].

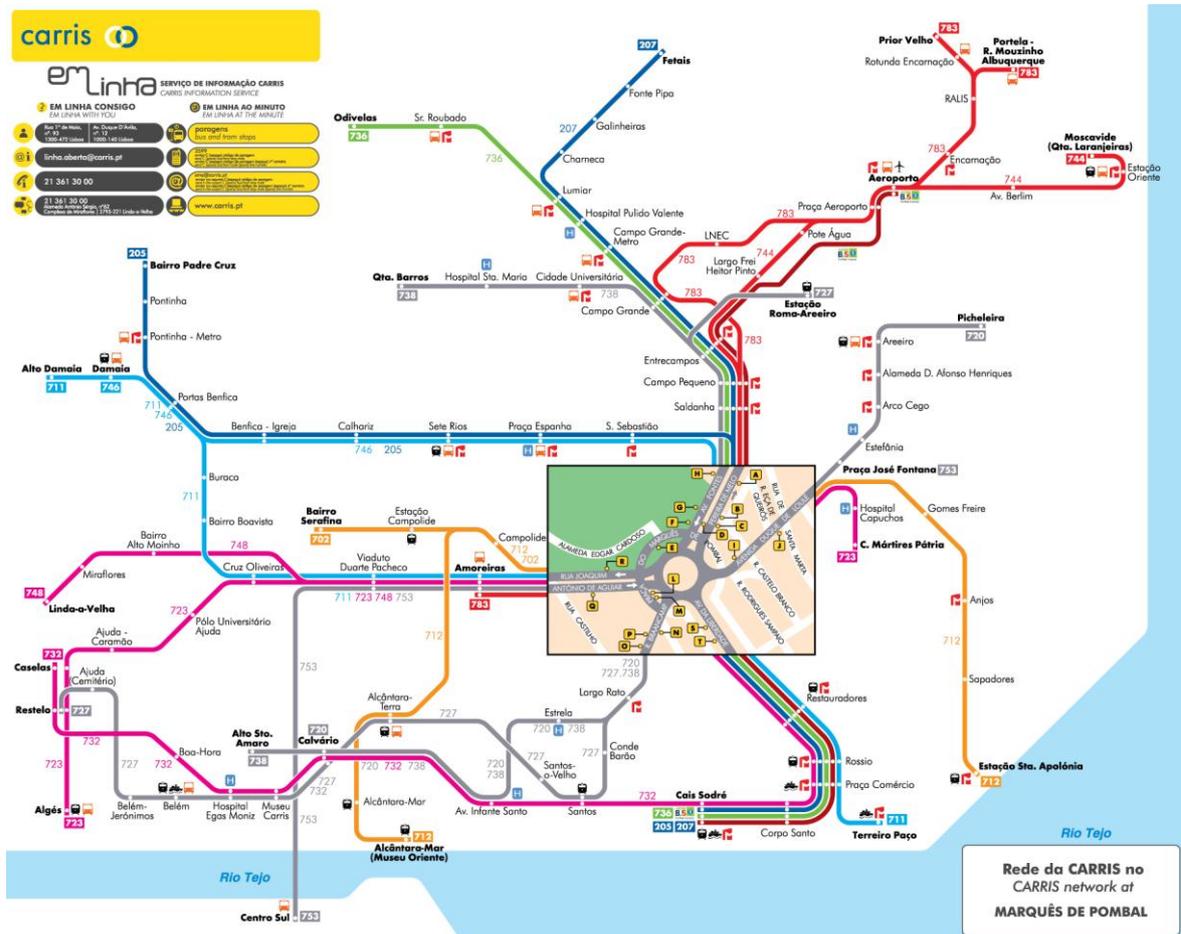


Figura 2 – SpiderMap do Marquês de Pombal, Lisboa.

Os *SpiderMaps* são em muito semelhantes com os mapas esquemáticos partilhando a forma como são feitos e a sua finalidade. No entanto têm em conta o contexto do utilizador ao terem áreas com diferente enfoque permitindo ao utilizador localizar-se através de detalhes como por exemplo edifícios, parques, rios, árvores, pontes, estradas, entre outros [62]. O seu objectivo no contexto das redes de transporte é o de ajudar a determinar qual o trajecto a tomar para chegar ao destino [63, 40].

Pretende-se através de algoritmos de desenho gráfico automatizar a tarefa de produção deste tipo de mapas. Após constatar que a natureza deste trabalho têm uma área de investigação tão vasta, foram analisados vários tipos de mapas entre os quais os mapas do metro para refinar o objectivo e determinar como outros autores solucionaram problemas semelhantes. No trabalho de Hong et al [64], os autores pretendem automatizar o processo de desenho de redes metropolitanas recorrendo a uma variante de *Spring Algorithm* [65] e ao algoritmo de François Bertault [66]. Outro trabalho, desta vez de Jonathan Stott [51]

também visa automatizar a tarefa de desenho de mapas de metro, mas recorrendo a vários critérios de optimização, construindo um optimizador *Hill Climbing*.

Se olharmos para o corrente problema como sendo um problema de construção dinâmica de *layouts* gráficos e algoritmos de desenho gráfico encontramos várias formas de resolver o problema. Entre elas, os algoritmos *force-directed* são referenciados como sendo um método flexível para a construção de esquemas. Um dos primeiros algoritmos deste género foi construído, segundo Kobourov, em 1963 [67]. Outro trabalho interessante na área recorre à utilização de um algoritmo adaptativo que contém várias ideias algorítmicas incluindo o conceito de temperatura, atracção entre os vértices e a detecção de oscilações e rotações [68].

Em suma, distintos autores encontraram formas tão diversas de resolver o problema de esquematização gráfica recorrendo a abordagens de *Discrete Curve Evolution*, *Genetic Algorithms*, *Grid Fitting Algorithms*, *Simulated Annealing*, *Gradient Descent Approach*, *Force-Directed Algorithms*, *Line Simplification*, *Hill Climber Optimizer*, *eMixerInteger* e *Linear Programming*. Com esta variedade de opções torna-se necessário escolher o rumo do desenvolvimento, tendo em conta os objectivos e requisitos para o trabalho.

Segue-se uma análise a abordagem *force-directed* devido à sua rapidez, agilidade e simplicidade de implementação tornando-se o algoritmo preferido por satisfazer assim os requisitos de implementação de SpiderMaps.

## 2.8 Force-Directed Algorithms

Este tipo de algoritmos têm sido utilizados por diversos autores para melhorar a disposição gráfica de grafos [69], esquemas maioritariamente rectos [47], melhorar diagramas de Euler conhecidos por diagramas de conjuntos [50]. Em geral este tipo de algoritmos pode ser utilizado para produzir um *layout* tal que satisfaça as regras de desenho definidas para o problema, que comumente são a minimização do número de curvas, cruzamentos, ângulo entre as arestas, fixação do desenho em grelha e aumento da simetria [69, 66].

Uma das abordagens mais utilizada baseia-se na restrição dos movimentos, podendo para isso seguir uma abordagem baseada em *Constraint Based Techniques*. Estas podem consistir na criação de funções de peso para guiarem os movimentos dos vértices [3, 42], restrição dos movimentos através de restrições geométricas *Geometric Restriction Algorithm* e *Proportional Restriction Algorithm* [70].

Em abordagens baseadas em energia, podem ser adicionadas penalizações para desencorajar os vértices a moverem-se para muito longe da sua posição anterior [71].

A maioria das abordagens modifica o algoritmo para guiar o desenho até a um estado em que as condições impostas são satisfeitas. De notar que para se considerar um bom resultado, não existe obrigatoriedade das condições serem totalmente satisfeitas, sendo necessário avaliar por exemplo se os cruzamentos existentes fazem sentido.

A primeira tentativa de automatizar o desenho de mapas de metro foi por Hong et al [64] que recorreu a uma aproximação *force-directed*, onde combinaram diferentes algoritmos deste tipo e aplicaram-nos sequencialmente. Este trabalho apresenta algumas limitações perceptíveis, como a colocação das legendas feita à posteriori, não restando espaço suficiente para a sua colocação, pondo em causa a legibilidade do mapa. Outros problemas ocorrem por não ser levado em conta a topologia do mapa geográfico, levando à construção de mapas pouco intuitivos.

Em seguida são apresentados outros exemplos de trabalhos realizados na área com diferentes abordagens para a produção de desenho gráfico utilizando, *constraint-based*, *topology-driven*, *planar graph*, *spring systems* e *electrical forces*.

Várias abordagens usam *hard constraints* para garantir que certas propriedades do gráfico inicial são mantidas, como o alinhamento vertical e horizontal [72, 73, 74, 75]. Cabello et al [76] apresenta um algoritmo combinatório para a geração de mapas esquemáticos, que tem em conta um conjunto de requisitos como a distância mínima entre estações e as estações que não mudam de posição.

O algoritmo de Didímo et al aplica forças às arestas para que se mantenham próximo da posição original, tomando a designação de *Topology-Driven* [48].

Os gráficos planares (*Planar Graphs*) são utilizados para permitir um resumo geral dos dados, permitindo para o efeito ter um resultado próximo do óptimo no que toca ao aspecto e legibilidade [47, 77].

A construção de um algoritmo para trabalhar grafos não direccionados de forma adaptativa através de alguma aleatoriedade foi o que Arne Frick [68] produziu, recorrendo a várias heurísticas para melhorar a convergência, incluindo técnicas de temperatura, forças gravitacionais e detecção de rotações e oscilações. Designando-se por *Spring Systems and Electrical Forces*.

Já em 1984 Eades [78] usou um modelo mecânico para produzir esquemas a duas dimensões para *plotters* e ecrãs CRT (tubo de raios catódicos). Primeiramente molas com força logarítmica, sendo a força representada por  $c1 \times \log_{10} d \div c2$  onde  $d$  representa a distância,  $c1$  e  $c2$  são constantes. Eades refere que a lei de Hookes é muito forte para quando os vértices estão distantes. Em segundo os vértices não adjacentes repelem-se entre eles com uma força representada pela raiz quadrada inversa  $c3 \div \sqrt{d}$ , onde  $c3$  é constante e  $d$  representa a distância entre os vértices [49].

Em 1991 Fruchterman and Reingold [79] tratam os vértices do gráfico como sendo partículas atómicas ou corpos celestes que exercem forças atractivas e repulsivas entre eles definidas por:

$$f_a(d) = d^2 \div k$$

e

$$f_r(d) = -k^2 \div d$$

Sendo a distância entre os dois vértices representada por  $d$  e a distância óptima entre os vértices representada por  $k$  definida pela formula:  $k = C \times \sqrt{(\text{área} \div n^\circ \text{ Vertices})}$ .

Este algoritmo é semelhante ao de Eades, pois em ambos os algoritmos são calculadas as forças atractivas entre os vértices adjacentes e repulsivas entre todos os pares de vértices. O algoritmo de Fruchterman and Reingold [79] adiciona a noção de temperatura, que pretende ser a variação linear inversa da oscilação, de modo a quando o resultado vai tomando forma a variação permitida seja reduzida até chegar a zero. Este funcionamento provém da técnica de *Simulated Annealing*.

Em 1997 o algoritmo de Davidson e Harel [44] adiciona mais restrições às já tradicionais, com o objectivo de minimizar os cruzamentos e manter próximos os vértices de diferentes segmentos.

Em 2011 Simonetto et al [80], resolveram pegar no trabalho anterior de Bertault F. [66] e melhorar o seu desempenho e estender as suas funcionalidades, dando maior enfoque ao cruzamento dos vértice. Como resultado, preserva os cruzamentos originais e previne a criação de novos, calculando:

- O deslocamento máximo possível para cada nó;
- Repulsão entre vértice;

- Atracção entre as conexões;
- Repulsão entre os vértices e as conexões;
- Os vértices são marcados como cruzáveis (*crossable*) ou não cruzáveis (*uncrossable*);
- Os vértices são marcados como fixos ou móveis.

Numa tentativa de melhorar os resultados, o autor sugere remover as forças repulsivas entre os vértices de uma linha quando os vértices são flexíveis.

Simonetto, refere ainda que a complexidade da computação depende da disposição do desenho inicial [50].

Com esta análise aprofundada a este tipo de algoritmo é possível recolher um conjunto de técnicas utilizadas pelos diversos autores para produzir um algoritmo deste tipo com o resultado pretendido.

Na próxima secção é dado a conhecer a problemática do desvio de rota.

## 2.9 Desvio de Rota

O desvio de rota ou fuga de rota, que se pretende analisar, está ligado à gestão de frotas rodoviárias e tem como base tecnológica o GPS. Com a possibilidade de saber em tempo real qual a posição actual de um veículo a gestão de frotas torna-se muito mais ágil, permitindo solucionar muitos dos problemas actualmente existentes.

Long Nguyen e Matthew Barth, engenheiro de electrónica na Universidade da Califórnia, realizaram um trabalho intitulado *Improving Automatic Vehicle Location Efficiency through Aperiodic Filtering*, que visou a construção de um sistema de localização automática de veículos, que tem uma componente de alarmista, na qual nos chamou à atenção o facto de o seu sistema enviar notificações no caso do veículo se afastar do trajecto inicialmente definido em espaço e tempo [81].

Um grupo de investigadores da Universidade de Illinois em Chicago incluindo Jakob Eriksson e James Biagioni têm realizado trabalho na área de transportes com projectos que visam a detecção de padrões em trajectórias no espaço de uma rede, ou a inferência de mapas com base em GPS, tracking através de Wi-Fi em SmartPhones, cálculo de estimativa de tempos, entre outros trabalhos de igual importância. Estes autores são conhecidos pelo projecto EasyTracker, cujo objectivo é inferir as rotas, as paragens e

horários através da análise dos dados recolhidos dos dispositivos GPS colocados nos veículos [82]. É portanto bastante importante o trabalho deste grupo de investigação para a fase de análise deste projecto, permitindo ficar com uma ideia tecnológica e científica da área [83, 84].

O próximo secção visa dar a conhecer as principais aplicações que de alguma forma estão relacionadas com o trabalho que esta dissertação pretende solucionar.

## 2.10 Aplicações Existentes

O sistema de transportes público é bastante importante numa cidade, principalmente por ser o meio de transporte utilizado pelos mais novos e pelos mais idosos. É importante fazer chegar informação sobre os horários e carreiras de forma perceptível e intuitiva a este público-alvo. Esta foi a preocupação de dois autores da universidade de Tottori, Japão, que criaram uma aplicação web para gerar horários de autocarro sob a forma de agregador [38]. Existe também uma aplicação de nome TransitEditor, que é um produto da empresa i2MAPP, para produzir horários e eventualmente exportar para o formato GTFS [85].

Os sistemas de transporte público de passageiros rodoviário está constantemente afectado pelo trânsito existente, ficando sujeito a atrasos, sendo interessante informar os utilizadores desses acontecimentos. Algoritmos simples que assumem que o veículo se desloca sem trânsito e à velocidade permitida dão origem a erros. Para combater este problema, dois autores sugerem um modelo para estimar a chegada dos autocarros em tempo real, ficando os sistemas de informação constantemente actualizados. A informação utilizada pelo modelo é a velocidade, tempo, distância e histórico [86].

A criação de *SpiderMaps* para melhorar o serviço de transportes públicos foi o que um grupo de investigadores da faculdade de engenharia da Universidade do Porto analisou. A sugestão passa pela construção de *SpiderMaps* servidos por Location Based Systems para melhorar o serviço prestado pelos PT [87].

A empresa Optimização e Planeamento de Transportes S.A. (OPT) tem o seu *core business* no desenvolvendo de soluções informáticas avançadas para a gestão e optimização de sistemas de transportes. Esta empresa detém dois produtos bastante aproximados daquilo que foi proposto implementar neste projecto.

O primeiro produto é o Infopub [88] que visa a geração de informação ao público, incluindo Mapas Esquemáticos e Horários orientados à paragem, cujos nomes dos produtos

são respectivamente BusMap e BusSched.

O segundo produto é o *SpiderMaps* - Mapas Esquemáticos de Zona [89] que é uma forma de representação de redes complexas aplicada neste caso aos transportes colectivos de passageiros. A OPT em conjunto com outras empresas, desenvolveu um sistema que permite a criação destas representações da rede de transporte de uma forma automática. É importante referir que este sistema se encontra em fase de protótipo.

## 2.11 Resumo e Conclusões

A presente secção reflecte primeiramente a preocupação em desenvolver uma aplicação que seja o mais integrável possível, recorrendo à utilização de *standards*. Foi realizada uma forte pesquisa dos formatos existentes para cada problema em concreto, nomeadamente para a representação de horários e rotas.

No que se refere à construção dos horários é algo que na comunidade científica já tem maturidade, focando-se nos formatos de dados e linguagens de marcação. Para este trabalho irá ser usado o formato GTFS para a representação de informação horária.

A bibliografia referente à esquematização e desenho é bastante variada no que toca a métodos de desenho, sendo bastante importante esta análise para a construção dos mapas esquemáticos e *SpiderMaps*.

Em seguida podemos afirmar que actualmente os sistemas de gestão de frotas fazem uso de georreferenciação através do GPS para a maioria das tarefas, sendo também indispensável para calcular desvios de rota. É de destacar a utilização do formato GPX para a representação da informação que irá permitir realizar esta tarefa.

Em seguida segue-se o capítulo de Projecto de Investigação, que visa dar a conhecer a metodologia de investigação aplicada.



### **3 *Projecto de Investigação***

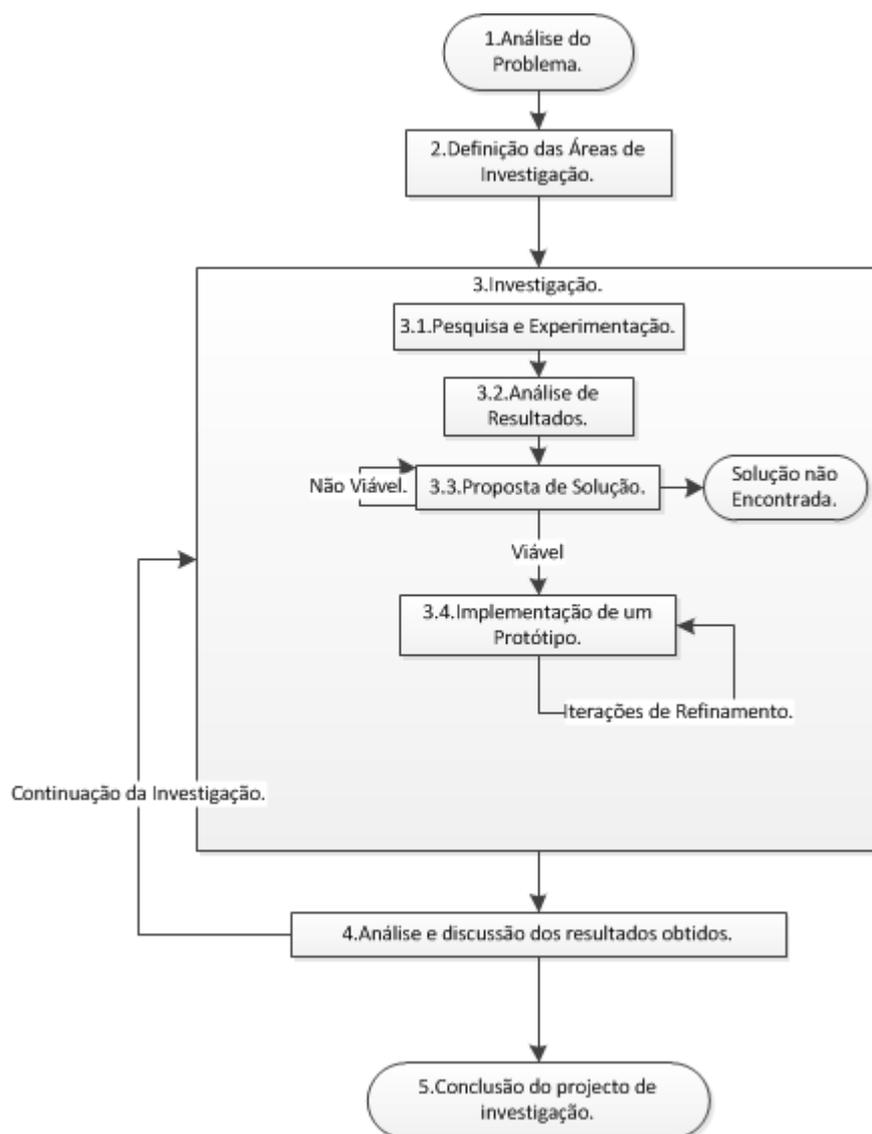
---

Com base na revisão da literatura, identificaram-se os desafios e oportunidades de investigação nas áreas afectas ao projecto DynPublic. O presente projecto pretende contribuir para o ajudar no esclarecimento de algumas das questões em aberto na área de investigação identificadas no capítulo anterior. Neste contexto, começou-se por definir uma metodologia de investigação de suporte ao projecto.

A metodologia utilizada requer alguma agilidade no sentido de permitir a navegação bi-direccional entre as etapas que a constituem. Esta agilidade é exigida devido às restrições impostas pelo ambiente empresarial em que se insere, devendo existir sempre a possibilidade de repetir os ciclos de procura e refinamento de soluções e também de reformulação do problema.

O projecto de investigação foi definido com base nas características dos problemas em estudo. Os problemas em consideração exigem uma abordagem iterativa que possibilite uma aproximação a possíveis soluções com base nos resultados obtidos durante o processo.

O esquema presente na Figura 3 é representativo da metodologia utilizada no desenvolvimento do projecto DynPublic.



**Figura 3 - Metodologia de investigação utilizada.**

Esta metodologia contém diversas actividades que estão fortemente ligadas, repete-se para cada problema e tem um comportamento sequencial, embora seja por vezes necessário voltar ao passo anterior. Inicia com a análise do problema, permitindo aferir objectivos que ajudam na definição das áreas de investigação independentemente do problema concreto que se pretende resolver.

A investigação começa com a revisão do estado da arte, permitindo aferir se a comunidade científica apresenta soluções capazes de solucionar o problema que se pretende solucionar. Com fundamentação e experimentação científica constrói-se uma proposta de solução que sofre iterações até solucionar o problema e ser viável a sua implementação em protótipo.

No final do processo de investigação, os artefactos produzidos são sujeitos a testes e

validações, ficando prontos para fazer parte integrante da solução, a fim de resolver o problema analisado no início da metodologia.

Uma boa forma de tomar conhecimento das etapas que fizeram parte do projecto é a consulta da tabela das tarefas realizadas. Esta encontra-se no Anexo II, onde constam as principais actividades realizadas durante o decorrer do projecto e o respectivo resultado quando aplicável.

As primeiras tarefas realizadas são de contextualização, permitindo a integração na empresa e no projecto a realizar, tomando contacto com a equipa de desenvolvimento da empresa e com os seus produtos, seguiram-se trabalhos de análise focada nas áreas de possível interesse tecnológico e científico para o projecto. Como terceira fase temos o desenvolvimento, que começou com a realização de protótipos e implementação das funcionalidades que cumprem os requisitos. No Anexo III encontra-se o gráfico de Gantt com o planeamento da realização destas tarefas dando a conhecer o seu escalonamento.

Finda a apresentação do processo de investigação seguido, o próximo capítulo será dedicado à apresentação da Análise.



## 4 Análise

---

O presente capítulo visa dar a conhecer em detalhe o projecto DynPublic, começando por fazer um enquadramento do projecto em termos tecnológicos, seguindo-se a definição do problema. Em seguimento são especificados os requisitos e por fim identificados os riscos inerentes ao projecto.

### 4.1 Enquadramento

Com a evolução tecnológica, os sistemas e processos ficam capazes de ser optimizados e automatizados. Este facto torna-se verdadeiro para o tema gestão de frotas, com o surgimento e banalização dos sistemas de georreferenciação como o GPS. Este sistema em conjunto com sistemas de informação permite construir soluções empresariais para dar suporte à gestão de frotas, seja ela de transporte de passageiros ou de mercadorias.

O transporte público de passageiros é hoje em dia pouco valorizado devido principalmente à competitividade com o transporte particular. Para mudar a actual realidade há que acrescentar valor competitivo ao PT com a redução do impacto das desvantagens ou mesmo eliminando-as por completo. Isto pode ser feito com recurso a sistemas informatizados de gestão e controlo, cujos permitem automatizar as tarefas e fornecer um serviço com mais qualidade, aumentando a fiabilidade e precisão da informação proveniente das tarefas realizadas repetidamente, de forma manual e pouco automatizada.

Perceber o funcionamento dos transportes públicos de passageiros é essencial para a construção de uma solução capaz de resolver os problemas a que se propõe. A gestão de frotas é uma área que evoluiu bastante com a criação de sistemas de georreferenciação, pois permite saber em tempo real a localização da frota de veículos. É não menos importante a utilização de normas, para a representação de informação georreferenciada sob a forma de mapa ou ficheiros, existe por exemplo o *Geospatial and Location Standards* que contém um enumerado de normas para esta área.

O modelo de negócio inerente a este projecto prevê a geração de informação ao público no âmbito do transporte público de passageiros. Esta informação inclui horários e mapas que se pretende que sejam colocados nas paragens ou outros locais de interesse sob a forma de posters ou formato digital, permanecendo estáticos até que uma alteração torne relevante a criação de uma nova versão. Neste Contexto surge o presente trabalho, denominado Geração Automatizada de Informação ao Público (ver Anexo I).

O objectivo é o de desenvolver uma plataforma de geração de horários, esquemas e mapas de localização para o transporte público de passageiros, com o requisito de ser um componente adicionável à solução actualmente em funcionamento XTraN Passenger [90].

Para cumprir com o objectivo é necessário um trabalho de análise nesta área para escolher o caminho a seguir e a forma de o seguir, minimizando o risco. Em particular é necessário identificar trabalhos na mesma área de negócio bem como as normas existentes, tecnologias e metodologias a aplicar. De seguida é necessário avaliar a possibilidade de integração desta solução com o domínio e lógica da aplicação XTraN Passenger [90] e a realização de testes. É ainda necessário definir a estratégia de desenvolvimento, bem como a arquitectura a implementar e o desenho da aplicação em protótipos. Só depois vem a fase de implementação, onde o desenvolvimento começa a ser realizado. Por fim, vem as fases de análise de desempenho e testes com a finalidade de melhorar e limar as arestas do trabalho realizado afinando e parametrizando a aplicação.

O facto de se estar a desenvolver uma aplicação que no futuro irá ser acoplada a outra que já está em produção, requer um esforço adicional no desenvolvimento, sendo necessário ter alguns cuidados como as referências a bibliotecas de *Software*. Estas têm de estar referenciadas para a mesma biblioteca não podendo haver referências repetidas ou cruzadas e as versões têm que ser as mesmas. Quanto ao estilo gráfico, este deve ser igual, recorrendo-se aos mesmos componentes e estilos.

No que toca ao código partilhado é necessário mantê-lo funcional. Para isso é necessário entender claramente o que está feito para podermos alterar sem que nada deixe de funcionar e preveja retrocompatibilidade.

Uma vez que o produto a desenvolver é um módulo a acoplar a um produto já existente, é normalmente necessário adaptar, corrigir e alterar componentes que não pertencem directamente a este projecto.

## 4.2 Definição do Problema

Uma empresa de PT tem muitas tarefas de gestão associadas. Uma dessas tarefas é a disponibilização de forma actualizada da informação aos passageiros em vários formatos. Devido às constantes alterações e adaptações das redes de transporte, é necessária uma constante actualização manual da informação ao público. Esta tarefa é muito morosa e pode não ser concluída em tempo útil ou mesmo tornar-se inviável, levando a quebras de serviço e perda de credibilidade.

Este problema pode ser solucionado através da geração da informação ao público com base na informação dos sistemas aplicativos de gestão de frotas, gerando os horários que são colocados nas paragens, exibindo informação horária para as diferentes épocas e dias do ano, tempos e intervalos de passagem, quais as carreiras que passam na paragem através de um diagrama simplificado do percurso.

A geração dos horários requer alguns cuidados para que capte o interesse do público, devendo ser de fácil compreensão, criando um contexto no tempo e espaço, tendo informação simplificada e com um padrão de cores agradável e coerente.

Quando falamos em mapas associamos a tarefa da sua concepção a cartógrafos profissionais, o que é decerto a realidade. Não obstante, a tecnologia permite a automação substancial deste trabalho com recurso a algoritmos, computação e desenho gráfico.

Os pontos de referência como florestas, monumentos, rios, pontes e outros, são bastante importantes para a contextualização espacial. Os detalhes melhoram e aceleram a facilidade de compreensão e leitura. É também necessário especial cuidado para manter a relação geográfica, a simplicidade sem omitir informação.

A geração dos mapas requer alguns cuidados / desafios para que capte o interesse do público. Estes cuidados estão relacionados com os nomes, números, texturas, espaçamentos e com as cores aplicadas, especial cuidado com o daltonismo tendo como referência a seguinte questão, “Irão os utilizadores dos mapas interpretar um simbolo roxo como uma sobreposição de um simbolo azul com um vermelho?” [40].

Quando falamos numa aplicação de auxílio à geração desta informação, não nos podemos esquecer de desenvolver um bom algoritmo para o desenho, pois é nele que fica a responsabilidade de garantir os cuidados referidos anteriormente.

### 4.3 Requisitos Técnicos Específicos

Na presente secção serão apresentados os requisitos associados ao trabalho, incluindo preocupações de desempenho, escalabilidade, riscos técnicos e outros requisitos recolhidos na fase de análise.

A aplicação desenvolvida tem de constituir obrigatoriamente vantagem em relação a outras que possam existir, visto ser uma aplicação que constitui um produto. Um dos aspectos principais a ter em conta é relativo aos formatos para representação dos dados. O DynPublic estará integrado com o sistema de gestão operacional da rede de transportes XTraN Passenger [90], no entanto deverão existir formas de importar e exportar os dados para outros sistemas.

A aplicação dispõe-se a produzir esquemas de horários e mapas, e como tal é importante seguir regras relacionadas com o desenho e esquematização, por forma a evitar erros cometidos no passado. É necessário perceber de que forma a informação é normalmente disposta nas paragens, tentando ter espírito crítico e melhorar o existente. É pretendido criar um tipo de mapa muito peculiar intitulado *SpiderMap* [91], sendo um desafio a construção de um algoritmo de desenho capaz de ser rápido e ao mesmo tempo produzir um resultado satisfatório.

Por forma a fazer a avaliação de percursos é necessário primeiramente encontrar uma forma de representar a informação relativa às rotas, analisando os formatos de dados existentes. Em seguida será necessário encontrar formas de calcular os desvios de rotas espaciais e temporais.

No que diz respeito a tecnologias a utilizar, temos sempre que ter em conta que terá que ser compatível com o XTraN Passenger. Apesar desta restrição, existe muita opção de escolha para cumprir com os objectivos, sendo por vezes impossível analisar todo o leque de opções.

Ao mesmo tempo é preciso considerar o modo como cada tecnologia se adequa ao objectivo proposto, bem como as suas potencialidades, tendo em conta os objectivos que são propostos atingir.

Para arranque inicial do projecto é necessário compreender o modelo de negócio da empresa e tomar conhecimento dos produtos que dispõe. Em particular, este projecto está ligado ao produto XTraN Passenger, utilizado para gestão de frotas de transporte público

de passageiros, sendo necessário compreender as suas camadas de domínio e de negócio.

Em seguida são enumerados os requisitos da aplicação / sistema a desenvolver:

- O sistema terá de responder aos pedidos no tempo considerado aceitável e comunicar sempre o estado dos pedidos;
- O sistema terá de ser o mais modular possível permitindo ser facilmente compreendido e conseqüentemente alterado;
- O sistema deverá usar a Base de Dados previamente existente como fonte de dados sem a sua alteração, salvo casos excepcionais;
- Analisar preferencialmente a ferramenta SharpMap [91] para a representação geográfica ou esquemática sempre que se achar necessário;
- Ter um *EndPoint* na aplicação com o objectivo de expor a informação num formato perceptível e de ser um ponto de interligação com outras aplicações. A informação é disponibilizada no formato XML;
- Ser desenvolvida em aplicação *Desktop* de modo a englobar as funcionalidades de calendarização e geração de mapas dinâmicos na aplicação XTraN Passenger;
- A aplicação deverá ser parametrizável de modo a permitir a geração de horários onde as horas são representadas sob a forma de intervalo ou valor;
- A aplicação deverá permitir gerar os diagramas / esquemas de localização seleccionando as paragens ou as carreiras;
- Utilizar motores de *templates* como é exemplo o Nvelocity [92];
- Utilizar motores de criação de relatórios como o Cristal Reports [93] e o Microsoft Report Viewer [94] para a geração da informação.

Graças à especificação dos requisitos foi possível determinar e limitar o âmbito do projecto. Em seguida são dados a conhecer os riscos técnicos identificados na fase de análise. São tidos em conta riscos tecnológicos, pessoais, de requisitos e de estimativa.

## 4.4 Riscos Técnicos

O levantamento dos riscos faz parte do plano de risco. Na Tabela 4 são apresentados os riscos que podem ocorrer no projecto, sendo determinada a sua severidade e associada a

sua probabilidade, exibindo para cada um formas de prevenção.

**Tabela 4 - Riscos técnicos existentes.**

<b>Componente</b>	<b>Descrição Risco</b>	<b>Severidade</b>	<b>Probabilidade</b>	<b>Contingência</b>
Fornecedor de mapas quebrar a actualização do produto ou a quebra do serviço prestado.	A aplicação pode ficar afectada, não sendo capaz de disponibilizar as funcionalidades relacionadas com mapas.	Alta	Baixa	Avaliar os prós e contras. A Tecmic S.A. adquiriu o pacote de mapas, não estando dependente da disponibilidade de qualquer serviço externo.
Elementos externos à empresa ligados ao projecto falharem.	A existência de vários intervenientes no projecto pode originar dependências ao projecto.	Alta	Media	Agendar reuniões obrigatórias entre os participantes / intervenientes periodicamente.
O SharpMap não seguiu desde a sua criação a especificação GeoAPI.	Dificuldade em interligar com outros sistemas	Média	Alta	Criação de uma API de conversão de unidades.
SharpMap	O SharpMap é uma <i>Framework</i> de código aberto e a sua manutenção pode cessar a qualquer momento ficando portanto descontinuada.	Média	Média	Contribuir para o desenvolvimento e efectuar as actualizações.
Alteração das regras de utilização civil do sistema GPS sem aviso prévio por parte dos EUA.	O GPS tal como o conhecemos é proprietários dos EUA, sendo este utilizado não só para fins civis como militares, sendo que a qualquer momento pode ser alterada a forma como o uso civil é feito.	Catastrófica	Muito Reduzida	Utilização de outros sistemas como o Galileu (Europeu).
Inviabilização do projecto.	Por motivos de financiamento, de tempo de mercado ou mesmo de concorrência a entidade responsável pelo projecto pode abandonar o desenvolvimento do projecto.	Alta	Baixa	Avaliação prévia do custo-benefício e angariação prévia de possíveis clientes.
Alterações na	Qualquer alteração na	Alta	Baixa	Realizar reuniões com

equipa de desenvolvimento.	equipa de desenvolvimento poderá perturbar o bom funcionamento do projecto, podendo este ficar em risco.			frequência para que todos os elementos fiquem sincronizados e a par dos problemas, antecipando situações futuras.
O rumo do projecto pode ser alterado pelos intervenientes.	A alteração do âmbito do projecto ou a alteração da prioridade do projecto na empresa pode condicionar a sua realização.	Média	Alta	Validar os requisitos levantados e definir o âmbito do projecto.

O próximo capítulo é a implementação, que tem por objectivo dar a conhecer o trabalho realizado durante a fase de implementação ao longo da realização do projecto DynPublic.



## 5 Implementação

---

Em seguida irá ser dado a conhecer o trabalho realizado durante a fase de implementação ao longo do projecto DynPublic, incluindo uma descrição do projecto e explicação técnica das principais funcionalidades.

Analisando a proposta (ver Anexo I), é notório a precisa definição da proposta em termos de funcionalidade. No entanto, a forma como serão realizados ou cumpridos não está definida, existindo liberdade para a concepção e desenvolvimento da aplicação utilizando os recursos tecnológicos existentes, existindo uma componente forte de investigação para criar uma solução inovadora. Não esquecendo algumas restrições que foram recolhidas durante a análise da proposta junto da empresa e que se encontram na secção 4.3.

O contributo desta dissertação para a resolução do problema é a construção de uma aplicação desenvolvida na Windows Microsoft Software Framework (.NET) na linguagem de programação C#, para geração automatizada de horários, esquemas, mapas dos itinerários dos PT para disponibilizar ao público e ainda a avaliação e execução de percursos com vista à detecção de fugas de rota.

A aplicação funciona com a metáfora de projecto e fará uso dos formatos normalizados GTFS, GPX, XML e HTML para a representação do resultado produzido. A manipulação de informação geográfica em *Geographic Information Systems* (GIS) faz-se utilizando a norma WGS84 que se refere à elipsóide de referência de origem geocêntrica utilizado pelos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) e utilização do *Universal Transversa de Mercator* (UTM) que é um sistema de localização terrestre baseado em coordenadas.

A origem da informação é quase na totalidade a base de dados do XTraN Passenger, havendo outras parametrizações através do preenchimento de formulários e a importação através de formatos normalizados.

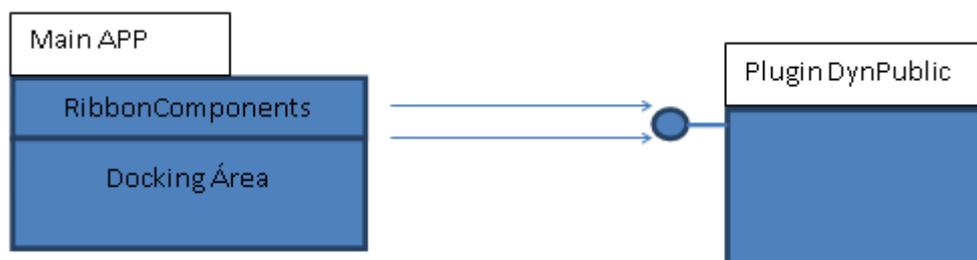
A interface gráfica é desenvolvida em *Windows Forms* com alguns componentes gráficos

externos provenientes do Krypton, Qios e outros projectos de código aberto [95], para produzir uma interface mais elegante e atraente. Quanto ao componente gráfico do mapa é usado o SharpMap Open Source GIS [91].

A aplicação foi desenvolvida com recurso aos mesmos componentes gráficos e hierarquia de componentes do XTraN Passenger, de forma a facilitar a integração e manter a mesma aparência e estilo.

Foram efectuados alguns protótipos para auxiliar a tarefa de implementação (ver Anexo IV).

O mecanismo de integração baseia-se na implementação de uma interface e encontra-se esquematizado na Figura 4. O resultado final será a adição de componentes gráficos existentes no *plugin* na posição correcta na aplicação principal. Como resultado final a área de menus cresce, aparecendo novas opções, e a área de trabalho é a da aplicação principal. Informação mais detalhada sobre a arquitectura está presente no Anexo IX, onde estão presentes um conjunto de diagramas e esquemas para ajudar na sua melhor compreensão.



**Figura 4 - Integração entre o XTraN Passenger e o módulo DynPublic.**

O projecto seguiu os padrões do XTraN Passenger, onde existe uma camada responsável pelo acesso a dados e outras camadas superiores para manipular os dados obtidos e disponibilizá-los para manipulação ou transformação para os formatos GPX, GTFS, PDF e HTML.

No que se refere a informação ao público é possível verificar que existem vários tipos de folhetos com mapas, horários e outro tipo de informações que normalmente as empresas disponibilizam aos seus utentes nas suas lojas, sites, ou que afixam nas paragens. No entanto esta informação é normalmente gerada sem recurso a ferramentas automáticas. Estas funcionalidades são automatizadas pela aplicação através de algoritmos e regras de desenho por forma a automatizar a maioria do trabalho para a construção da informação a colocar nas paragens por parte das empresas de PT.

Outra das funcionalidades que a aplicação terá que permitir é o cálculo de desvios de rota, analisando traçados de rota com informação georreferenciada e horária. Desta forma é possível calcular desvios de rota geográfica e atrasos temporais.

Em seguida são dados a conhecer as boas práticas adoptadas durante a implementação, que não só se referem à utilização de normas, como também à utilização de padrões de desenho de *software*.

## 5.1 Boas Práticas de Implementação

A utilização de padrões de desenho de *software* permite a criação de soluções flexíveis, adaptáveis e reutilizáveis para dar resposta aos problemas recorrentes da programação orientada a objectos (POO). Os 23 padrões mais conhecidos da POO foram desenhados pelo Gang-of-Four (GoF) [96]. Em seguida são enumerados os padrões utilizados, juntamente com uma pequena descrição da sua finalidade que se torna suficiente para compreender a sua aplicação sem entrar em detalhes técnicos.

- Factory Method - Creates an instance of several derived classes;
- Singleton - A class of which only a single instance can exist;
- Bridge - Separates an object's interface from its implementation;
- Proxy - An object representing another object;
- Data Access Object Design (DAO) - Pattern to Build a Data Access Layer (DAL), providing a simplified access to data stored in persistent storage;
- Domain Logic Patterns - The domain model (Entities and Value objects) is a part of the Domain Layer;
- Object-Relational Behavioral Patterns – Lazy Load - to defer initialization of an object until the point at which it is needed;
- Unit of Work - Maintains a list of objects affected by a business transaction and coordinates the writing out of changes and the resolution of concurrency problems;
- Database Abstraction Layer – With an object-relational mapping (ORM).

A utilização de formatos de dados deve-se em primeiro lugar a sua finalidade, em segundo a sua aplicabilidade no negócio, em terceiro se são normalizados e por fim a sua adopção no mercado dos sistemas de informação (SI).

## 5.2 Arquitectura Funcional

O funcionamento da aplicação foi planeado para ser modular e integrável permitindo a coexistência e integração com outras aplicações. Isto deve-se à separação dos vários tipos de informação em informação proveniente da BD, informação de parametrização, informação resultante da aplicação da parametrização sobre os dados da BD e informação resultante da “renderização” e edição manual realizada pelo utilizador e ainda devido à utilização de formatos *standard*. Na Figura 5 encontra-se a arquitectura funcional da geração de horários.

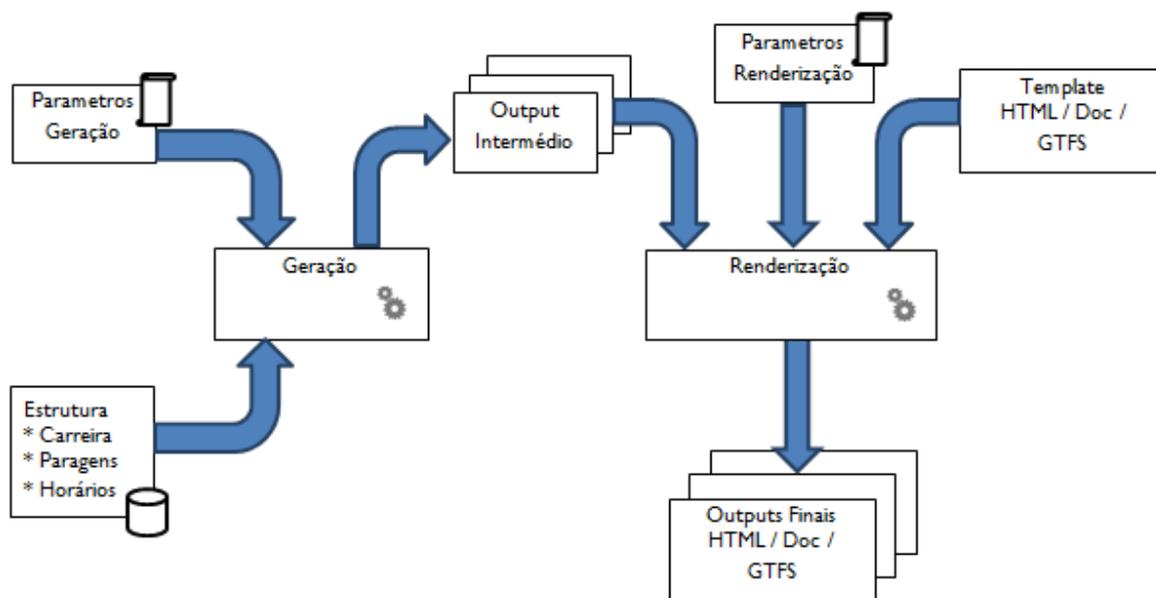


Figura 5 - Funcionamento da aplicação de geração de horários.

É importante referir que este esquema de funcionamento foi pensado para ser expansível através da exportação e conversão para formatos *standard*. O output intermédio foi inicialmente definido unicamente XML, no entanto este formato servirá unicamente para expor como serviço. Esta decisão prende-se com o facto de a manipulação de XML ter um desempenho inferior à utilização de objectos C#.

A informação relativa à carreira variante sentido, aos horários e derivados está numa base de dados. Esta informação é carregada para a aplicação e juntamente com parametrizações do utilizador são gerados dados intermédios totalmente desligados da base de dados.

Esta informação intermédia poderá seguir diversos caminhos desde, ser disponibilizada como serviço, a ser exportada para XML ou a prosseguir para a fase de “renderização”. Nesta fase o utilizador introduz parâmetros e escolhe o *template* a usar na criação dos horários.

Por forma a aglomerar toda a informação referente ao projecto, foi criado um objecto de nome `DynPublicProject`, que contém informação relativa aos horários, aos mapas esquemáticos e aos *SpiderMaps* criados na aplicação. A funcionalidade que permite guardar o projecto apenas efectua a serialização do objecto `DynPublicProject`, a sua representação em diagrama de classes encontra-se no Anexo IX, assim como diagramas de arquitectura.

Em seguida são apresentados os detalhes de implementação horários.

## 5.3 Horários

O processo de criação dos horários é suportado com a utilização de ferramentas, sendo elas o NVelocity [92] para gerar o horário em HTML a partir de um *template* e o Microsoft Report Viewer [94] para a produção dos horários nos formatos Doc, Excel e PDF.

A informação que disponibilizam inclui as paragens, carreiras, horas de passagem e outras notas.

Tal como está na Figura 5 é possível verificar que a informação horária provém da BD do XTraN Passenger à qual é aplicada uma parametrização para produzir um esquema horário conforme as preferências.

Através da parametrização é possível definir:

- Quais as paragens a aparecer;
- Quais as horas a aparecer;
- Quais os tipos de dia a aparecer;
- Quais as épocas do ano a aparecer;
- Se os minutos dos horários são por valor ou intervalo.

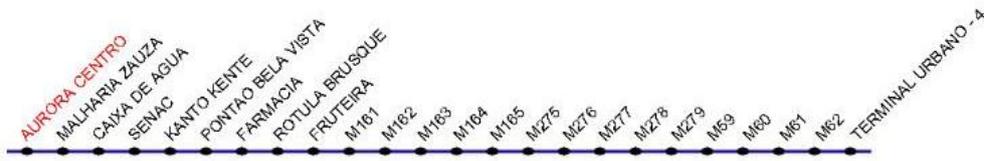
Esta informação de parametrização é recolhida na interface da aplicação e armazenada de forma estruturada para que passe para a fase seguinte. Os diagramas de classes encontram-se no Anexo IX.

O desenho do *layout* do esquema horário foi realizado no Microsoft Report Viewer após o desenho prévio de alguns protótipos (ver Anexo IV).

A Figura 6 é um exemplo de um horário produzido pela aplicação DynPublic.

## 01 01-Cristo Rei (Desc)

Via : AURORA CENTRO --- TERMINAL URBANO - 4



Horário na Paragem : AURORA CENTRO ( 22 )

Dia	Época	0	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Horas
Domingo/ Feriado	Escolar		20			10 35	10 35	25 55	15 55	25 55	25 55	35	25 40	15 40	10	10 40	10 35	25 50	15 40	10 50	30	10	10		Minutos
	Não Escolar		55	20		10 35	10 40	10 40	10 40	10 40	10 40	10 40	10 40	10 55	10 55	15 40	30 55	20 45	15 35	25 50	15 40	10 50	30	10	10
Sábado	Escolar	30	10 20	20	25	50	10 40 50	20 45 55	30 50	30 50	30 50	10 50	20 55	10 50	10 50	10 50	30	10 30 50	10 30 50	10	10 40	10 20	10	40 40	Minutos
	Não Escolar		10 10 20 30	20		50	10 40 50	20 30 45	10 30	10 30	10 30	10 25	20 35	10 50	10 50	10 50	10	10 50	10 30 50	10	10 30	10 20	10	40	Minutos

Figura 6 - Exemplo de esquema horário produzido pelo DynPublic.

Como é possível ver pelo esquema, vemos no topo um esquema representativo da carreira, onde está destacada a paragem de referência. Na parte central temos os horários agrupados em horas com os tempos ao minuto de passagem do autocarro pela paragem. Também é possível gerar os tempos em intervalo, fazendo uma média dos tempos reais. Na parte esquerda temos as épocas do ano e os dias-tipo, pelos quais estão agrupados os horários.

Foi implementada a conversão para o formato GTFS [26] com recurso à biblioteca LinqToCSV [97]. Como resultado é possível exportar da informação horária para este formato.

É uma popular biblioteca para ler e gravar arquivos CSV, sendo possível parametrizar qual o caracter separador e formatos de data e número.

Em seguida são apresentados os detalhes de implementação dos mapas esquemáticos.

## 5.4 Mapas Esquemáticos

De seguida são dados a conhecer os detalhes de implementação deste tipo de mapas, começando com algumas ilacções retiradas da fase de análise.

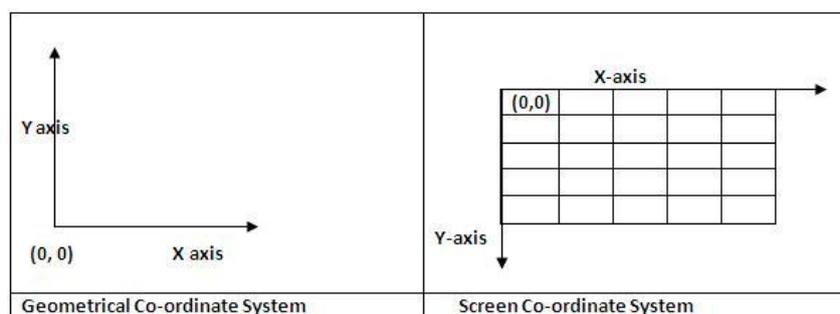
Aquando a construção de mapas é necessário ter em consideração as regras e normas

existentes, para tal é importante seguir algum tipo de guia de modo a sustentar as decisões tomadas. Como exemplo temos o artigo *Design principles for visual communication* [63] e o *On the Design of Schematic Transport Maps* [40].

Em Portugal, a direcção geral do ordenamento do território e desenvolvimento urbano e o instituto geográfico português são uma boa fonte de informação como é o caso do “Guia Metodológico Para A Produção De Cartografia Municipal De Risco E Para A Criação De Sistemas De Informação Geográfica (SIG) De Base Municipal” [98], que nos diz por exemplo quais as especificações a usar na representação geográfica, quais os sistemas de referência geográfica a usar, tal como os formatos e modelos de dados recomendados.

Um aspecto que normalmente é muito discutido em esquemas deste género é a inclinação das rectas que normalmente é múltipla de 45 graus ou 90 graus existem também variantes a 30 graus e a 60 graus.

Importa referir que para representação das coordenadas geográficas na aplicação, é necessário converter previamente as coordenadas para um sistema orientado ao ecrã, como demonstra a Figura 7.



**Figura 7 - Geometrical vs. Screen Co-ordinate System.**

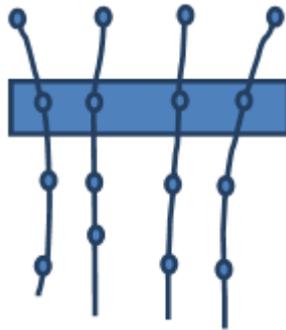
As coordenadas no formato WGS84 comportam-se como um sistema Geométrico, ao que os componentes gráficos de desenho têm o eixo do Y invertido, sendo necessário efectuar esta conversão.

Quanto à geração esquemática de mapas foi utilizada a biblioteca de desenho gráfico SharpMap [91]. Esta biblioteca que pode ser utilizada em aplicações web e desktop. Está preparada para trabalhar com vários formatos de informação GIS e os seus componentes gráficos permitem o desenho de mapas. O motor está construído em C# na *framework* .Net 4.0. Está licenciado como sendo *Lesser General Public License* (GNU).

Na definição do problema foi levantada a problemática dos cuidados a ter no desenho dos

mapas. A resolução desta problemática é ultrapassada com a delegação deste cuidado para o utilizador final, uma vez que a aplicação possibilita a personalização do resultado produzido pelo algoritmo.

Na Figura 8 está representado o primeiro protótipo para a criação dos mapas esquemáticos para representar as carreiras tendo como referência uma paragem, que é destacada.



**Figura 8 - Esquema simplificado da versão linear do mapa esquemático.**

Os mapas esquemáticos representativos das carreiras estão orientados à paragem, isto é, foram construídos para ser colocados na paragem e representar as carreiras tendo a paragem como referência. A geração destes mapas é realizada através de um algoritmo simples que é parametrizado no momento da geração. O esquema do algoritmo pode ser editado graficamente com recurso a um componente gráfico de GIS, o SharpMap [91], podendo o resultado ser exportado para imagem.

A geração dos esquemas usa um algoritmo bastante simples que tem três formas distintas de funcionamento, tendo todas elas em conta a distância relativa entre as paragens das carreiras. Em seguida são apresentados exemplos de utilização das várias formas implementadas, sendo que as paragens são referentes à rede dos transportes da empresa Auto Viação Chapecó [99], onde a paragem de referência tem o nome de Radio Chapecó.

A primeira forma é a mais simples, criando linhas rectas paralelas que representam as carreiras, tal como se encontra na Figura 9.

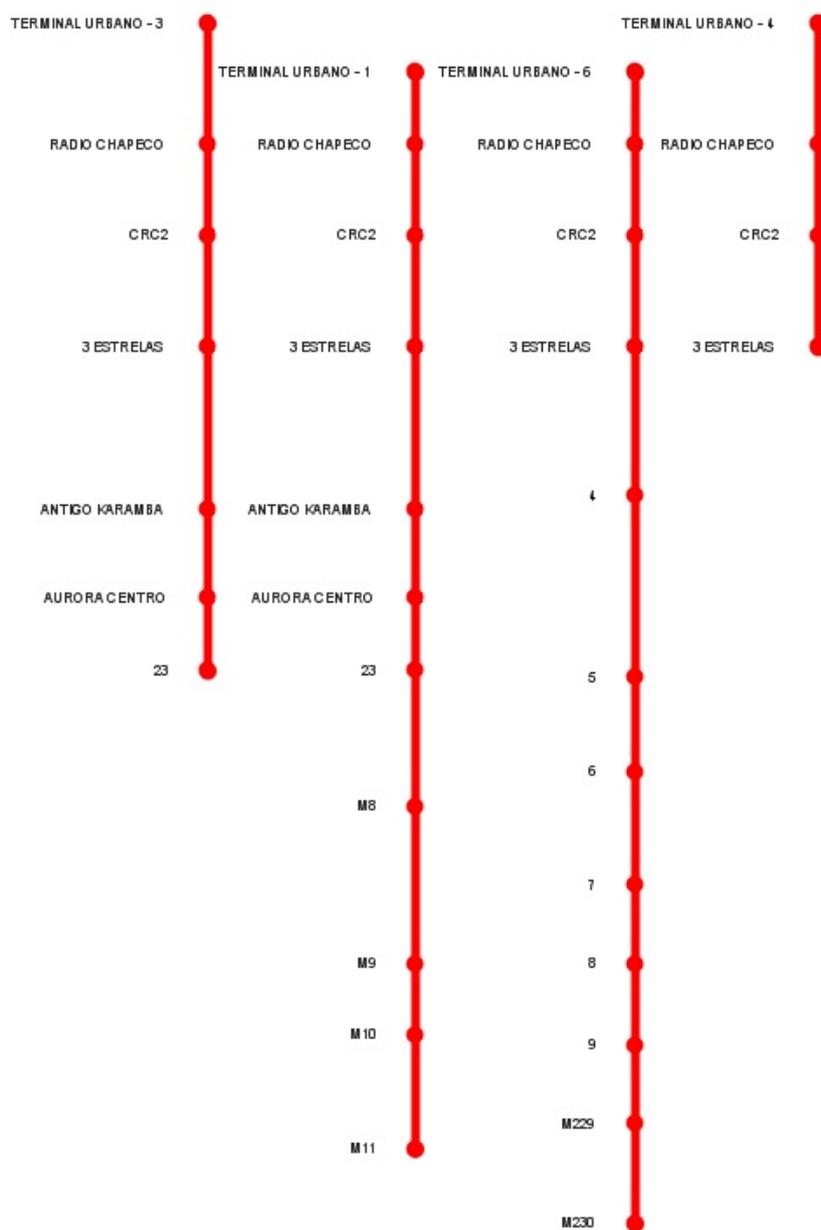


Figura 9 - Esquema orientado à paragem parametrizado de forma linear.

A segunda forma tem como princípio os ângulos entre as ligações das paragens, caso o angulo formado entre duas ligações de paragens passe um determinado valor configurável, é representado no mapa a 45 graus para o lado correspondente. A Figura 10 é um exemplo desta forma.

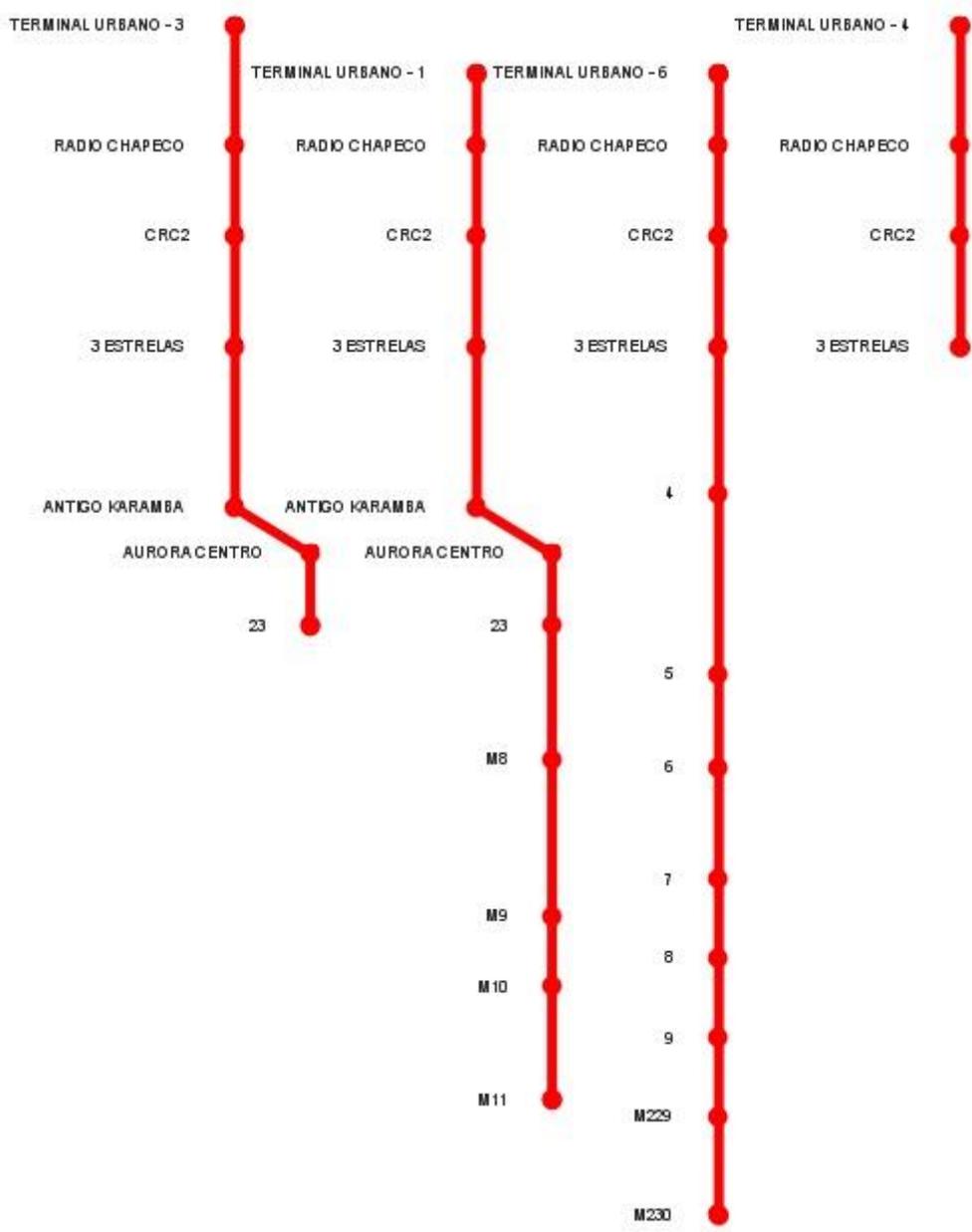


Figura 10 - Esquema orientado à paragem tendo em conta o ângulo.

A terceira e última forma têm como princípio o número de ligações existentes em cada paragem, isto é, os ramos que saem de uma paragem representam as diferentes alternativas de percurso. Esta forma tem ângulos mais irregulares, pois depende da quantidade de ligações existentes e de algumas correções que o algoritmo faz para fazer coincidir a posição de paragens iguais. A Figura 11 é um exemplo desta forma.

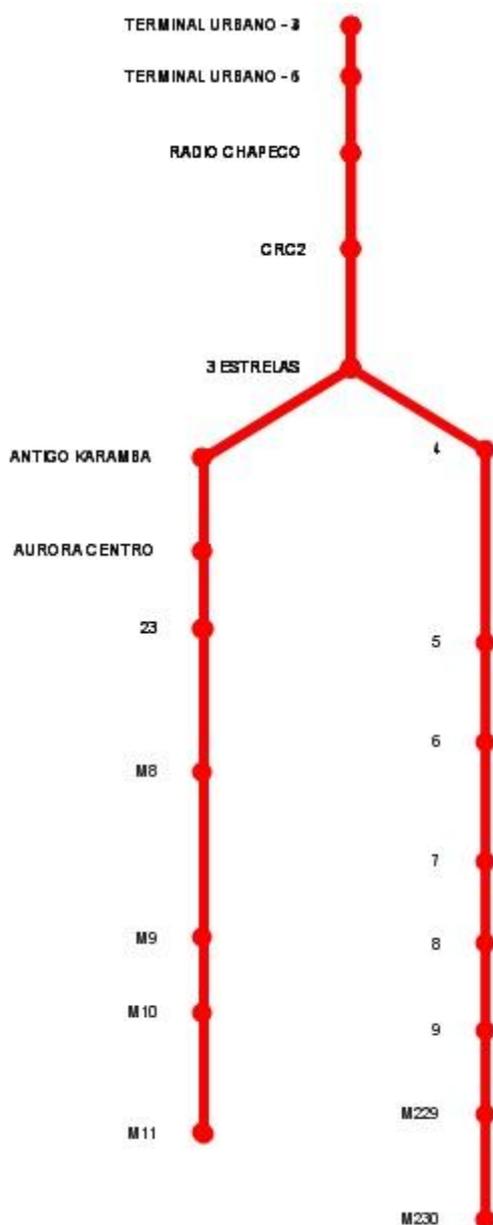
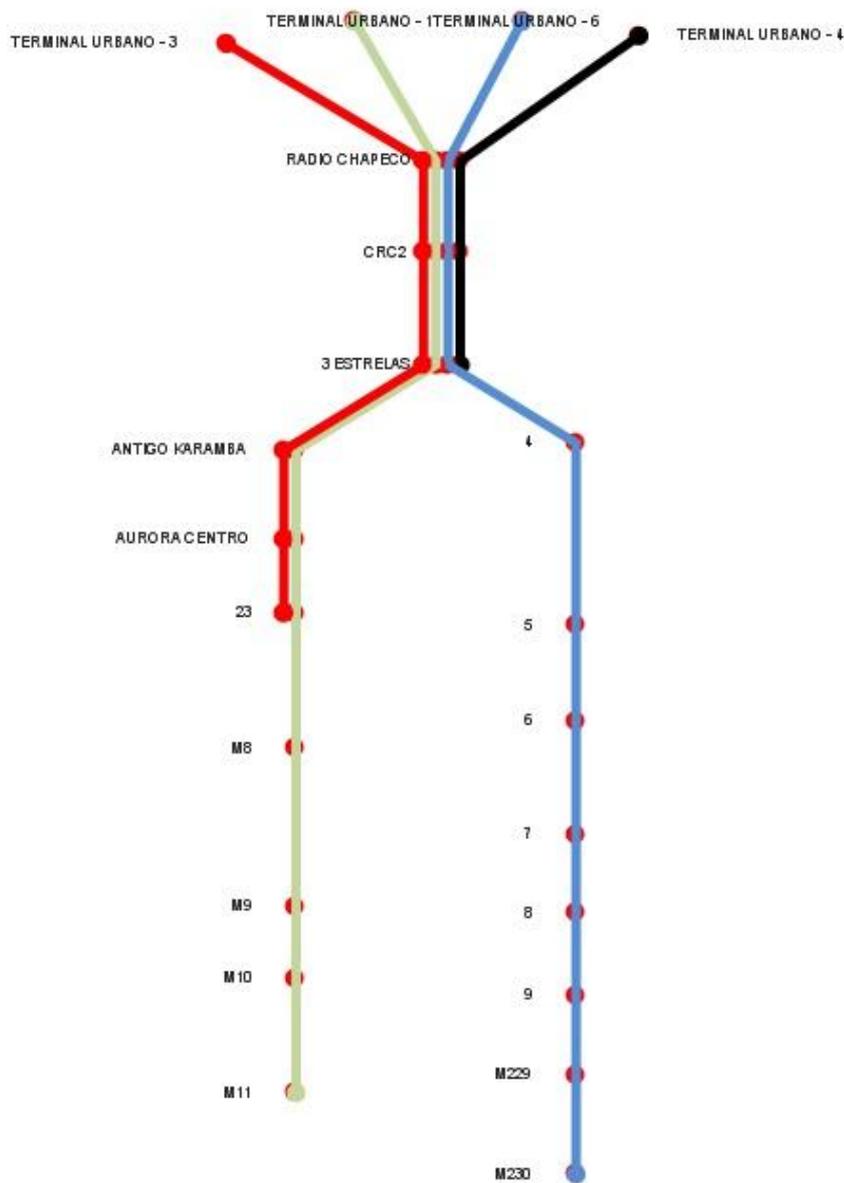


Figura 11 - Esquema orientado à paragem tendo em conta o número de ligações.

Através de edição gráfica é possível melhorar o resultado produzido pelo algoritmo, obtendo um resultado mais agradável visualmente, como o representado na Figura 12.



**Figura 12 - Esquema orientado à paragem editado graficamente.**

O problema de criação de mapas esquemáticos orientados à paragem foi solucionado da forma explicada anteriormente. Esta decisão mostra-se vantajosa para o caso prático, uma vez que se evita o recurso a algoritmos complexos, deixando que o utilizador escolha o formato que mais lhe agrada e faça os ajustes que ache necessários, desta forma são solucionados a maioria dos casos e com um menor custo de desenvolvimento. Em relação aos cuidados gráficos referenciados na definição do problema (cap.4.2) e sintetizados no início do corrente capítulo, ficarão ao cuidado do utilizador aquando da edição do esquema.

Em seguida são apresentados os detalhes de implementação dos SpiderMaps.

## 5.5 SpiderMaps

Analisando o trabalho relacionado e debatendo com os requisitos pretendidos, decidiu-se implementar um algoritmo *force-directed* para a criação de mapas esquemáticos pela razão de serem simples e relativamente rápidos de implementar. Esta abordagem traz grande vantagem para a aplicação construída, permitindo ao utilizador obter resultados rapidamente.

O mapa resultante pretende que as ligações e linhas sejam, na sua maioria, rectilíneas e representem uma simplificação da realidade. Contudo, a sua fisionomia deve ser semelhante à forma original, mantendo a topologia da rede.

Foi implementada uma solução que contém várias partes principais:

1. Tratamento inicial dos dados;
2. Execução do algoritmo e aplicação das restrições e parâmetros;
3. Ajustes finais.

Para a criação do *SpiderMap* foi criado um algoritmo. Podia-se considerar uma heurística devido apenas ao facto de o resultado produzido não ser uma solução perfeita, sendo uma aproximação a um resultado óptimo. O algoritmo produzido tem a particularidade de produzir o mesmo resultado sempre que tem os mesmos dados de entrada e a mesma parametrização. Esta característica deve-se à inexistência de aleatoriedade. A sua implementação será explicada na próxima secção.

### 5.5.1 O Algoritmo

Para desenhar o esquema pretendido podem ser levados em conta diversos critérios como é o caso dos espaçamentos entre os vértices, da distribuição uniforme, das regras de disposição e do cruzamento mínimo de linhas. Estes cuidados são difíceis de obter usando técnicas com aleatoriedade, sendo necessário encontrar uma forma de transmitir estes conhecimentos ao algoritmo.

A construção de meta-heurísticas como *Simulated-Annealing* ou qualquer uma das outras estratégias utilizadas pelos autores referenciados anteriormente foram ponderadas. Optou-se, no entanto, por implementar um algoritmo baseado em *force-directed* para a resolução do problema, por ser também uma forma usada para problemas semelhantes e por ser uma solução computacionalmente leve e relativamente rápida de implementar, garantindo

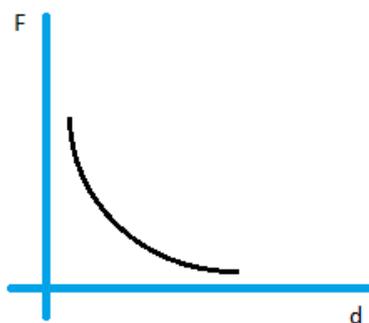
resultados aceitáveis apesar de não óptimos.

Os algoritmos *force-directed* são usados no desenho gráfico por serem fáceis de implementar e por produzirem bons resultados. Contrariamente a um modelo de forças ou métodos de convergência, um modelo de forças é escolhido quando se quer obter ligações com o mesmo comprimento e mostrar simetria num gráfico. No entanto, estes algoritmos podem introduzir muitos cruzamentos, comprometendo o desenho. Existem modelos de forças mais complexos que envolvem algoritmos genéticos e *Simulated-Annealing* mas são computacionalmente pesados e difíceis de parametrizar [66].

O algoritmo construído tem a finalidade de automatizar a esquematização da rede de transporte público, seguindo algumas indicações de outros trabalhos da área para o correcto funcionamento e afinação do algoritmo.

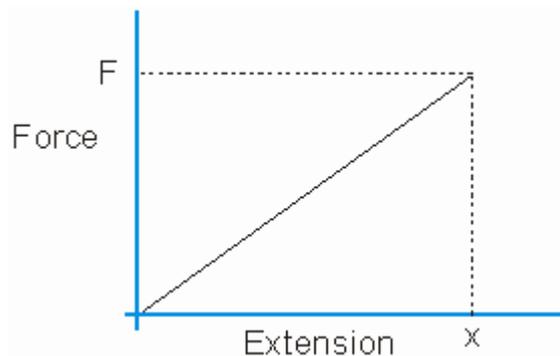
Um algoritmo deste género tem como base de funcionamento as forças de atracção e repulsão dos vértices e arestas constituintes da rede e foram estas as principais forças definidas no funcionamento do algoritmo.

O mecanismo de forças presente no algoritmo produzido, tende a estabilizar e atingir um equilíbrio ao longo da sua execução. Esta característica deve-se ao facto de a força atractiva ser linear e a força repulsiva ser o inverso do quadrado, permitindo desta forma a existência de um ponto de equilíbrio.



$$F = k \times (Q^1 \times Q^2 \div r^2) \quad (1)$$

Figura 13 - Lei de Coulomb.



$$F = -kx \quad (2)$$

Figura 14 - Lei de Hooke.

Foi utilizada a Lei de Coulomb, presente na Figura 13, para representar a repulsão entre os vértices e a Lei de Hooke, presente na Figura 14, para representar a atracção entre os

vértices das ligações. Em ambas as figuras o  $F$  significa força e o  $d$  e o  $X$  a distância.

Para explicar o funcionamento do algoritmo podemos equiparar as forças atractivas a molas e as repulsivas a campos magnéticos ou forças electroestáticas, assim temos:

A força de repulsão é exercida por todos os vértices do diagrama, sendo que cada nó é repellido por todos os outros. Esta força foi equiparada à força de repulsão entre partículas electroestáticas, tendo sido utilizada a Lei de Coulomb representada pela fórmula: (1), onde  $k$  representa uma constante,  $Q$  a carga e  $r$  a distância. Uma vez que os vértices têm as mesmas características, a variável  $Q$  é ignorada pois actua como constante no cálculo das forças. Em relação à constante  $k$  foram escolhidos valores otimizados para o problema em específico através da realização de testes. Segundo a fórmula, a força diminui quadráticamente com o aumento da distância, assemelhando-se ao comportamento gravitacional ou à interacção electrostática entre os corpos.

A força de atracção é exercida em cada vértice pelas suas ligações a outros vértices. Podemos, assim, ver estas forças como molas a unir os pontos fazendo com que estes tenham alguma flexibilidade. Esta força é então calculada usando a lei de Hooke, que a descreve pela fórmula: (2), onde  $k$  é uma constante e  $x$  a distância entre os vértices e o comprimento da mola. A resultante da força é sempre proporcional à distância.

Este esquema de forças é a base de funcionamento do algoritmo, as movimentações ao longo das iterações são calculadas com base nestas forças, com a adição de outras restrições dadas pela parametrização. Desta forma é permitido obter um resultado que satisfaça alguns critérios pré-definidos.

Em seguida é explicada a parametrização.

### **5.5.2 Parametrização**

O algoritmo desenvolvido tem um conjunto de parâmetros e configurações que condicionam o resultado obtido. É importante permitir adaptar e ajustar a parametrização de modo a melhorar o resultado. Os parâmetros podem ser activadores, activando ou desactivando funcionalidades ou podem ser um valor que entra de alguma forma no cálculo.

O algoritmo produzido necessitou de ser afinado através de experimentação a fim de produzir resultados aceitáveis. Como resultado foram determinados os valores aconselhados para os parâmetros e testados os seus dominios de valores permitindo

determinar algumas restrições ao bom funcionamento do algoritmo.

Em seguida são apresentados os parâmetros, agrupados de acordo com a sua finalidade.

Parâmetros de teste:

- Nome – cada parametrização deve ter um nome que a identifica;
- *Output* colorido – para fins de teste é bastante útil produzir um resultado mais informativo e perceptível.

Uma das parametrizações permite associar paragens fisicamente próximas numa única paragem através de uma função de proximidade. Como resultado a sua representação no mapa esquemático fica reduzida ao mesmo ponto.

Valores por definição usados no algoritmo:

- Valor da constante de atracção definida pela lei de Hooke, também conhecida por *Spring Constant* – 0.1(em N s/m);
- Valor da constante de repulsão definida pela lei de Coulomb, também conhecida por *Charge Constant* – 100000;
- Valor máximo da força repulsiva permitida para um nó – 1% da constante da força de repulsão;
- Valor da constante de amortecimento, permite definir a oscilação de valores permitida para a solução chegar a um equilíbrio. Em física, o amortecimento é um efeito que reduz a amplitude das oscilações num sistema oscilatório. – 0.5N/s;
- Valor do comprimento da mola, este valor representa o ponto de equilíbrio da mola, significando que dois pontos são atraídos até ao limite do comprimento da mola e foi definido para zero unidades distância, não limitando à partida a distância mínima entre os vértices. É possível parametrizar a percentagem de distância mínima entre os vértices de uma conexão;
- Critérios de paragem:
  - Número máximo de iterações – 500 iterações;
  - Tempo máximo de execução – 60 segundos;
  - Número de iterações seguidas sem ocorrerem alterações – 15 iterações sem

ocorrer mais de 15 unidades de distância de movimentação.

Restrições ao desenho para guiar o resultado produzido:

- Fixar o primeiro nó de cada linha no seu ponto original;
- Fixar o último nó de cada linha no seu ponto original;
- Fixar os vértices partilhados entre mais de uma linha no seu ponto original;
- Manter os cruzamentos, apenas entre linhas diferentes (representativas de carreiras);
- Força de atracção que liga os vértices à sua posição original com o mesmo funcionamento da lei de Coulomb. A esta força é dado um peso de 1%, tendo este valor sido calculado aquando a afinação do algoritmo;
- Limitar o deslocamento de cada ponto em cada iteração. Esta restrição impede que o novo ponto seja modificado caso a sua nova posição esteja a uma distância superior ao limite estabelecido;
- Na tentativa de atrair a disposição final para uma grelha, as ligações que atingem ao longo do algoritmo posições com ângulo múltiplo de 90 graus até ao final das iterações são tornadas fixas. Isto ocorre apenas após 50% das iterações, uma vez é na parte final da execução do algoritmo que ele tende a estabilizar.

Ajustes finais, após o término das iterações:

- Numa fase de ajustes é possível calcular o quão rectilíneas estão as linhas, caso a variação máxima da direcção das ligações seja inferior a 75 graus, aplicar uma força para mover a posição dos vértices para formar uma linha recta a começar no ponto inicial da linha até ao ponto final;
- Quando as diferenças da longitude ou latitude das coordenadas dos vértices de uma conexão for inferior a um determinado *threshold*, ambas ficarão com o mesmo valor, isso fará com que se obtenha um resultado em grelha, apesar de parecer artificial;
- Efectuar um arredondamento das coordenadas para dar um aspecto em grelha, a dimensão do arredondamento é pré-definida.

Os valores por omissão indicados para as parametrizações tem uma fundamentação

baseada em experimentação e estão adaptados às características do *dataset*, isto é, valores dados como ótimos para a resolução do problema, podem não produzir o mesmo resultado para outro *dataset*. Como consequência a solução apresentada é uma ferramenta de auxílio à geração de mapas que necessita de ser parametrizada e o resultado produzido poderá também necessitar de pequenos ajustes manuais.

Em seguida é apresentado o pseudo-código do algoritmo produzido.

## 5.5.3 Pseudo-Código

### Force-Directed Algorithm

**Input:** Heuristic parameterization and a list of lines which form part of the network.

**Output:** A Schematic Map and running statistics.

**Require:** Node coordinates with a format ((-)#####, (-)#####), without decimal part, which can be positive or negative.

{**Step A:** Initialization}

Create list of line's connections, a list of distinct nodes, fill each node child list, and calculate max connection length.

{**Step B:** If it is parameterized, merge near nodes}

As a result, these nodes will obtain the same coordinates.

{**Step C:** If it is parameterized, fix to original positions root nodes, end nodes and common line nodes}

running <- run algorithm parameterization.

**while** running **do**

**foreach** node n in nodelist **do**

        currentRepulsionForce <- CalcRepulsionForce(n, nodelist)

        currentAttractionForce <- CalcAttractionForce(n, nodelist, springLenght)

        n.NextPosition <- CalcNextPosition(currentRepulsionForce, currentAttractionForce)

**end foreach**

    {**Step D:** If it is parameterized - Push nodes to original coordinates}

    Calculates and applies the attraction force between current position and original position.

    {**Step E:** If it is parameterized - Maintain Crossing connections}

    It is not pretended to prevent the movement of the nodes that intersect, but keep the crossings.

    {**Step F:** Move nodes to resultant positions and calculate total displacement}

    If a max displacement threshold is violated, the node position does not change.

    {**Step G:** If it is parameterized - Push nodes to 90° multiple after 50% of iterations}

    CalcTotalIterationDisplacement()

**If** StopConditions **then**

**break**

**end while**

{**Step H:** If it is parameterized - Do adjustments}

Round longitude or latitude coordinates to result in a grid map and(or) push coordinates to orthogonal by equality longitude and latitude if the connection points difference are under a threshold value and(or) push line to straight line if the angle variation is under 75°.

{**Step I:** Generate output with resultant lines, number of iterations, max connection length, min displacement count, time elapsed, list of line connections and a list of distinct nodes}

A construção do algoritmo segue as seguintes regras:

1. Duas linhas  $l$  e  $l'$  cruzam-se, se pelo menos um par de arestas se intersecta;
2. Duas linhas  $l$  e  $l'$  com a mesma origem ou destino não se cruzam;
3. Dois vértices são iguais se tiverem exactamente as mesmas coordenadas;
4. A mesma parametrização no mesmo *dataset* produz sempre o mesmo resultado;
5. O fluxo de execução está dependente da parametrização;

O problema que se pretende resolver tem um dataset com domínio conhecido, sendo este constituído por coordenadas geográficas no formato WGS84. Tendo esta premissa, é possível otimizar a parametrização do algoritmo para a dimensão do dataset.

Em seguida é apresentada a função de avaliação, responsável por avaliar o resultado produzido pelo algoritmo.

### **5.5.4 Função de Avaliação**

Se olharmos para mapas de rede existentes, como o conhecido mapa do metro de Londres construído em 1933 por Harry Beck, verificamos que são uma modificação da disposição da rede original. O objectivo destes mapas é ajudar a guiar os utentes pela rede de transportes, tendo este objectivo em consideração é necessário que sejam o mais simples possível. Conseguimos enumerar rapidamente algumas características que garantem a simplicidade destes mapas:

- As linhas encontram-se em ângulos regulares;
- As estações estão separadas;
- As legendas estão colocadas de forma desambigua;
- A topologia da rede é mantida.

Com a finalidade de comparação dos resultados produzidos, é necessário avaliar com base em métricas. A cada uma destas métricas é dado um peso, pois nem todas as métricas avaliadas têm a mesma importância.

Foi criada uma função para automatizar a avaliação do resultado obtido através de heurísticas. Como resultado desta avaliação, obteve-se uma classificação que se pretende minimizar.

Tabela 5 - Critérios de avaliação dos resultados obtidos.

ID Critério	Peso do Critério	Descrição
A	C1	Variação da Rotação dos Segmentos em relação à original.
B	C2	Variação dos Deslocamentos em relação à original.
C	C3	A criação de novos cruzamentos.
D	C4	A variação do comprimento das linhas.
E	C5	A dispersão dos pontos verificando a existência de pontos muito próximos.

Os critérios presentes na Tabela 5 definem aquilo que é indesejável obter no esquema final e os seus pesos devem ser definidos com base comparativa. Quer isto dizer que um critério menos desejável deve ter um peso maior. Estes critérios foram recolhidos da fase de análise, onde se analisaram trabalhos na área.

Como resultado é calculado o peso pela fórmula:

$$Peso_{final} = C_1 \times A + C_2 \times B + C_3 \times C + C_4 \times D + C_5 \times E$$

Em seguida é dado a conhecer o protótipo construído para permitir testar o algoritmo.

### 5.5.5 O Protótipo

Foi criada uma aplicação protótipo para auxiliar o desenvolvimento e visualizar os resultados graficamente.

Pretende-se que seja possível visualizar graficamente a evolução do algoritmo ao longo das iterações, por esta razão temos como requisito principal a rapidez de desenho.

Com base neste requisito, foi decidido criar o protótipo em Microsoft Windows Forms, utilizando a plataforma.Net 4.0 e a interface GDI+ (Graphics Device Interface) para representar graficamente a rede presente no *dataset*.

Opções de visualização:

- Evolução em tempo real do algoritmo;
- Cores diferentes para cada linha;
- Cor diferente para os vértices comuns;
- Visualização simultânea da rede original e da rede simplificada produzida pelo algoritmo;

- Exportação para imagem.

Estando o resultado produzido totalmente dependente da parametrização, são geradas várias soluções a partir de diferentes configurações e no final o *SpiderMap* resultante pode ser escolhido pelo operador do sistema de um conjunto de soluções produzidas.

Todo o desenvolvimento foi suportado por este protótipo. Após a conclusão do seu desenvolvimento, foi uniformizado de forma ao algoritmo poder ser utilizado de forma genérica, como por exemplo pelo SharpMap [91]. Para isso foi construído um modelo de domínio para que o funcionamento do algoritmo *force-directed* ficasse isolado, permitindo que este possa ser utilizado para além da produção de *SpiderMaps* (ver Anexo VI).

Em seguida é apresentado o trabalho realizado no tema de avaliação e execução de percursos com vista à detecção de desvio de rota.

## **5.6 Desvio de Rota**

Esta secção trata a problemática dos desvios de rota, será dado a conhecer a necessidade da sua resolução. Inicia-se com a explicação do problema e segue-se com uma listagem de objectivos. Serão também enumeradas algumas vantagens da sua utilização e conclui-se com exemplos de aplicabilidade.

### **5.6.1 Problema**

Um dos aspectos a avaliar na gestão de frotas é o desvio ou fuga de rota, normalmente os condutores têm que seguir rotas pré-estabelecidas e que não podem ser alteradas sem uma justificação. Para estes casos faz sentido a existência de um mecanismo de detecção de desvio de rota, entenda-se desvio de rota pelo não cumprimento de um percurso pré-estabelecido.

Esta área também preza pela gestão dos recursos existentes e rentabilização dos mesmos, para tal uma avaliação da qualidade da rota efectuada poderá resultar uma métrica de qualidade que permite a avaliação dos trajectos tomados, condutores, veículos e todos os demais intervenientes.

### **5.6.2 Objectivos**

Após análise cuidada do problema foram definidos os seguintes objectivos:

1. Calcular o desvio de rota tendo em conta o tempo e espaço;

2. Encontrar uma forma de este cálculo ser reutilizável por modelos de negócio diferentes;
3. Avaliação da execução de percursos, através da medição da qualidade da rota efectuada tendo em conta os desvios espaciais e temporais;
4. Geração de um relatório resultante desta análise.

Foram analisados vários formatos de dados para conter esta informação e optou-se pelo formato GPX pela sua simplicidade, por ser uma norma e pela sua actual utilização massificada. Com a utilização do formato GPX, é possível organizar a informação temporal e geográfica. Este formato divide-se em 3 tipos principais:

- *Metadata*, contém informação adicional sobre os dados, como o nome, autor, palavras-chave, entre outros;
- *Routes*, que definem os caminhos através de pontos sequencialmente ordenados, vulgarmente são a definição de um percurso a realizar;
- *Tracks*, que definem também um caminho no entanto este é vulgarmente resultado do registo do caminho tomado;
- *Waypoints*, definem um ponto no mapa através de uma coordenada em graus no formato WGS84 e a elevação em metros e os tempos em UTC que usa o formato ISO 8601 que define um standard de representação de datas e tempos. Estes pontos podem estar isolados representando um ponto de interesse ou organizados constituindo *Routes* ou *Tracks*.

Através da comparação do percurso realizado com o percurso planeado é possível calcular a qualidade do percurso calculando o desvio. Para fazer uma avaliação da execução do percurso é necessário determinar as métricas a utilizar na avaliação de qualidade. Como exemplo podemos apenas querer avaliar o desvio geográfico e não o tempo despendido na viagem, tudo depende do funcionamento do negócio. Em seguida são dados a conhecer os detalhes de implementação desta avaliação.

### **5.6.3 Implementação**

Foram identificadas duas necessidades principais para a prova de conceito, a de comparar uma posição com a rota planeada e comparar a rota executada com a planeada. Destas comparações deve resultar um relatório que calcule o desvio de rota espacial e temporal.

Para geração de um relatório de resultados foi escolhido o Microsoft Report Viewer.

Ambas as formas requerem um valor de *threshold* para cálculo do desvio espacial e temporal. Em relação ao cálculo do desvio espacial, este valor é definido em metros e simboliza a distância máxima a que o veículo se pode afastar da rota definida, em relação ao cálculo do desvio temporal, este valor é o valor máximo permitido para o atraso e está definido em horas, minutos e segundos.

O cálculo tem as seguintes parametrizações:

- Escolha da *route* e do *track* ou *waypoint* a comparar;
- Cálculo entre route-track ou route-waypoint;
- O valor do *threshold* ou tolerância em metros;
- O valor do *threshold* ou tolerância em h.m.s.;
- Forma de cálculo, se o *threshold* é aplicado ao ponto (*waypoint*) ou à rota (*route*);

Uma rota é definida por um conjunto de pontos que podem ser unidos e formar uma linha, no entanto ao calcular a distância à rota podemos calcular em relação aos seus pontos ou em relação à linha, de notar que os valores resultantes são normalmente diferentes. Os cálculos da distância utilizaram a fórmula Haversine. [100]

Em seguida serão apresentadas algumas imagens elucidativas do funcionamento da detecção de desvio de rota, bem como uma pequena explicação. A informação de rotas provem do site oficial do formato GPX [33], que disponibiliza ficheiros de teste.

Começemos com um caso de estudo onde se tem conhecimento da rota planeada e da posição actual do veículo.

A Figura 15 é a representação da informação presente num ficheiro GPX num mapa do Open Street Maps no componente de GIS SharpMap. A figura contém uma rota planeada e vários pontos de interesse.



Figura 15 - Mapa que contém a rota planejada e pontos de interesse.

A Figura 16 contém apenas a rota presente na Figura 15 e um ponto de referência adicionado manualmente. Estando portanto escolhida a forma de cálculo de desvio de rota, será entre a rota planejada e um ponto de referência que representa a posição actual do veículo.



Figura 16 - Mapa que contém a rota planejada e um ponto de referência.

A Figura 17 representa a inflação do ponto de referência para cálculo da área de tolerância, como resultado obteve-se uma circunferência com o raio igual ao *threshold*. Se tivermos em conta apenas os dados georreferenciados presentes no mapa podemos concluir que neste caso não existiu desvio de rota porque a circunferência intersecta a rota planeada.



Figura 17 - Mapa que contém a rota planeada, o ponto de referência e a tolerância.

A Figura 18 contém o relatório para este caso de estudo. O relatório contém informação referente às parametrizações efectuadas para o cálculo, informação referente à rota, informação utilizada para os cálculos e a representação geográfica do caso de estudo.

Análise de desvio para a rota : BELLEVUE

A rota planeada foi comparada com a rota realizada, através do método da inflação do ponto de referência.

Informação da rota :

Distância Total :	11.1938689522238 Km
Tolerância Recomendada :	243.344977222257 m

Informação de Cálculo :

Atraso Temporal :	-18:43:22 h:m:s
Desvio de Rota :	<b>Não</b>
Tolerância Permitida :	243.344977222257 m
Distância do Ponto à Rota :	195.295299205213 m

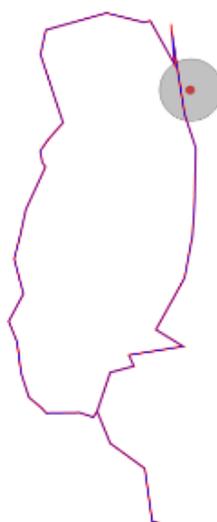
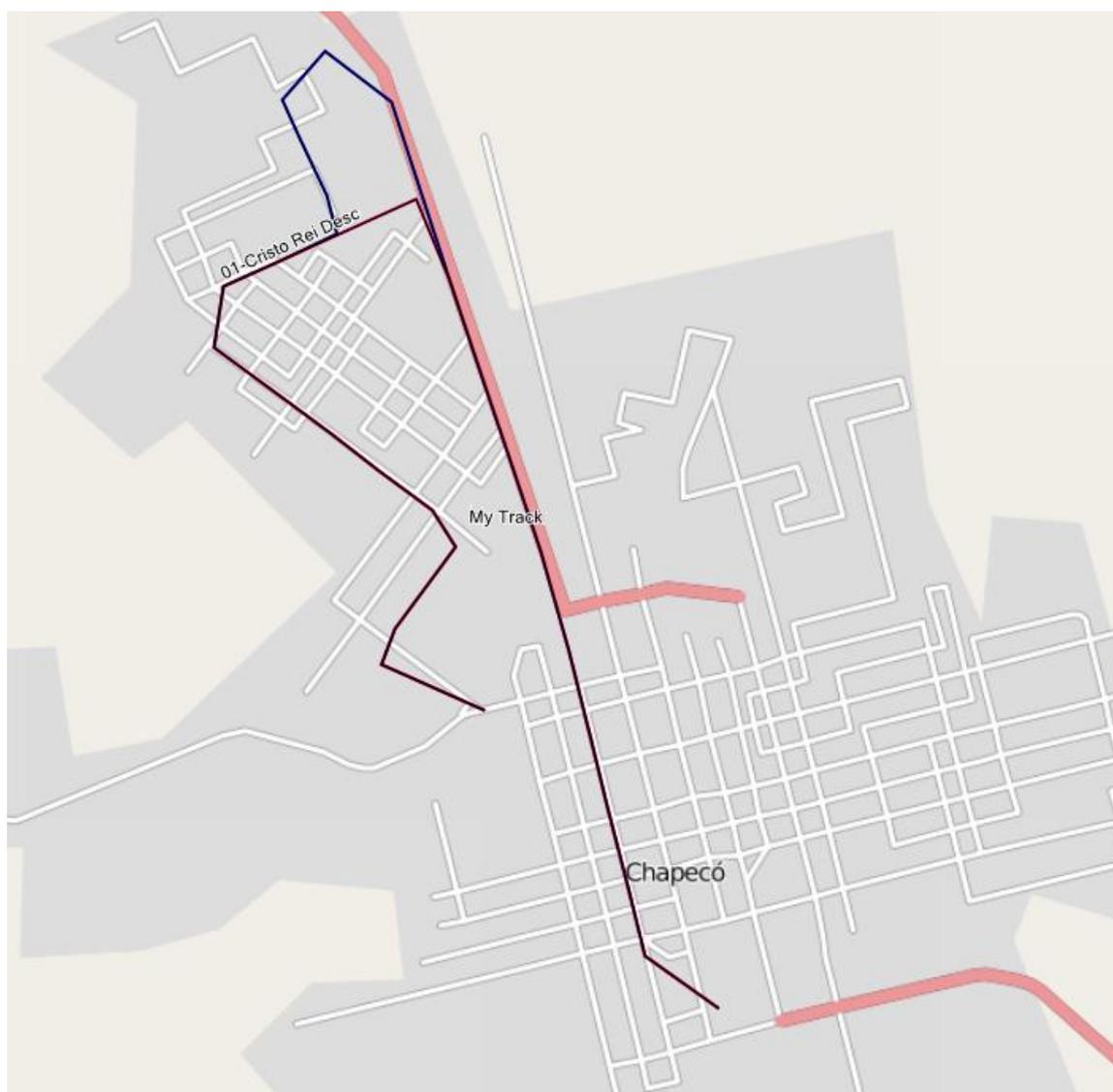


Figura 18 - Relatório resultante da análise de desvio de rota.

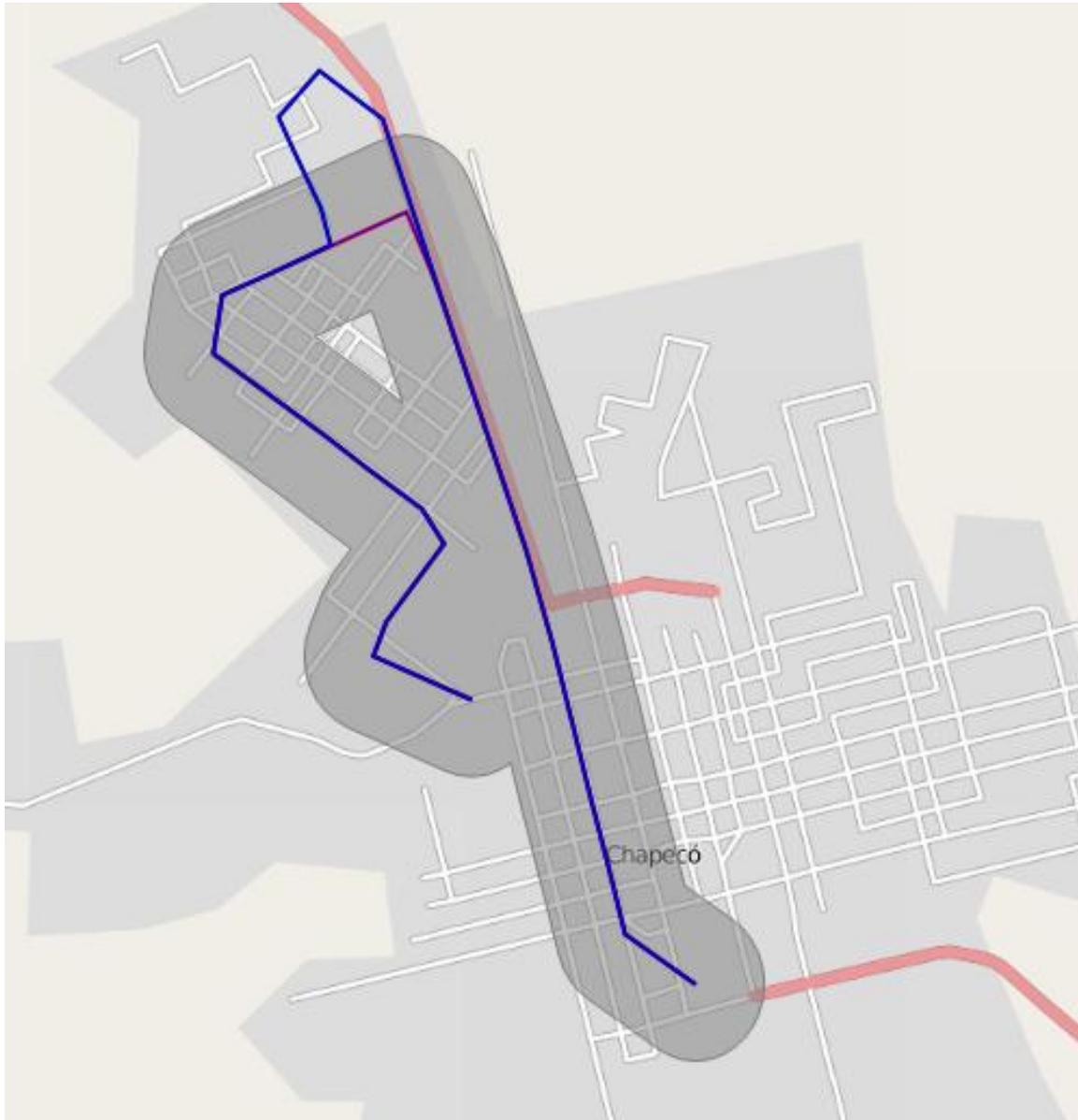
Em seguida é apresentado um caso de estudo onde é comparada uma *route* com um *track*.

A Figura 19 é a representação da informação presente num ficheiro GPX num mapa do Open Street Maps no componente de GIS SharpMap. Na figura contém uma *route* a vermelho e um *track* a azul. Para isto ser possível é necessário que o percurso já tenha sido realizado, só assim temos um *track* completo.



**Figura 19 - Mapa contendo as rotas planejadas e executadas.**

A Figura 20 representa a inflação da *route*, como resultado é obtida uma área onde as extremidades têm um afastamento da rota igual ao *threshold*. Se tivermos em conta apenas os dados georreferenciados presentes no mapa podemos concluir que neste caso existiu desvio de rota, uma vez que o *track* sai fora da zona de abrangência.



**Figura 20 - Mapa que contém as rotas e a área de tolerância espacial.**

A Figura 21 contém o relatório para este caso de estudo. O relatório contém informação referente às parametrizações efectuadas para o cálculo, informação referente à rota, informação utilizada para os cálculos e uma imagem que contém a representação geográfica do caso de estudo.

Análise de desvio para a rota : 01-Cristo Rei Desc

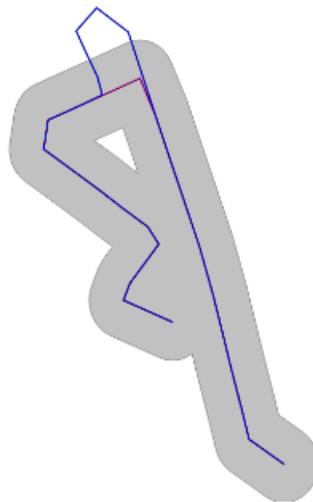
A rota planeada foi comparada com a rota realizada, através do método da inflação da rota planeada.

Informação da rota :

<b>Distância Total :</b>	8.25841084710844 Km
<b>Tolerância Recomendada :</b>	344.100451962852 m

Informação de Cálculo :

<b>Atraso Temporal :</b>	0:0:0 h:m:s
<b>Desvio de Rota :</b>	<b>Sim</b>
<b>Tolerância Permitida :</b>	344.100451962852 m
<b>Distância da Rota Realizada aos pontos da Rota Planeada :</b>	832.949475619923 m



**Figura 21 - Relatório resultante da análise de desvio.**

Estas são as formas implementadas para calcular o desvio de rota, no entanto a sua implementação está muito simplista, existindo hipótese de realização de trabalho futuro. O algoritmo de cálculo pode ser melhorado por forma a ficar mais robusto e inteligente. No que se refere ao cálculo da inflação, recorreu-se à versão 2.11 do NetTopologySuite que está de acordo com outras duas implementações encontradas no artigo *Point-In-Polygon Tests For Geometric Buffers* [101], e na patente americana 20120050294A1 [102], no entanto existe trabalho a fazer para aumentar a precisão dos cálculos.

Para concluir o presente capítulo, em seguida é realizada uma análise final ao projecto.

## 5.7 Análise Final

Foi adicionada a ferramenta DPack [103] ao Visual Studio 2010 para aumentar a produtividade do programador. Esta ferramenta permite também criar estatísticas, permitindo avaliar a solução quantitativamente. A Tabela 6 é o resultado da avaliação feita ao projecto DynPublic, permitindo comparar a dimensão dos vários componentes da solução.

**Tabela 6 - Estatísticas da solução.**

	Projectos	Ficheiros	Total de Linhas	Linhas de Código	Code Ratio %
Dependências Externas	Framework Integration.DAL	7	581	359	61
	Framework Integration.Domain	3	635	367	57
	Framework Integration.GIS	63	14493	9852	67
	Framework Integration.GIS.UI	44	11961	8767	73
	Framework Integration.UI	18	1923	1316	68
	Framework Integration.Utils	4	998	652	65
	GeoAPI.Net.VS2010.Net35	256	69045	39014	56
	NetTopologySuite.Coordinates.Simple.VS2010.Net35	8	5894	4234	71
	NetTopologySuite.VS2010.Net35	319	64597	41013	63
	NPack.VS2010.Net35	74	15095	8605	57
Domínio e DAL	DALManager	16	3262	2214	67
	Shared.Domain	10	445	277	62
	Passenger.DAL	124	7060	5437	77
	Passenger.Domain	285	38200	31339	82
	Tools.ConfigurationTools	7	1250	909	72
	Tools.DataBase	2	105	74	70
	Passenger.DynPublic.Domain	56	6161	4227	68
Lógica Horários e Mapas	Passenger.DynPublic.Business	7	2112	1429	67
	Passenger.DynPublic.Renderer	5	273	206	75
Interface	Passenger.DynPublic.UIPlugin	48	12480	9164	73
Aplicações de Teste	SharpMapTestApplication	9	1136	799	70
	ForceDirected3.0	4	1327	977	73
Desvio de Rota	Tools.GeomManipulation	3	611	295	48
	Tools.GeoUtils	2	251	127	50
	Tools.RouteDeviation	3	862	516	59
Componentes de Interface.	Tools.TranslatorUI	6	1586	1148	72
	UI.Controls	66	9704	6981	71
	WinFormsUI	50	15138	12375	81
	System.Windows.Forms.Ribbon	52	13457	9163	68
Total:	Passenger.DynPublic	1551	300642	201836	67

Na Tabela 6 estão presentes todos os projectos que fazem parte da solução DynPublic agrupados em funcionalidade. Desta forma é possível comparar os vários componentes em termos de dimensão dentro da solução DynPublic.

### 5.7.1 Decisões Tomadas

Ao longo do projecto foi dada bastante liberdade por parte dos orientadores deste projecto pertencentes à Tecmic S.A. Este facto levou a que a maioria das decisões fossem tomadas

por mim com base em fundamentos recolhidos durante a investigação e análise.

As principais decisões tomadas são as seguintes:

- Utilização do Microsoft Report Viewer para a criação dos horários;
- A data de criação do horário, presente na parte inferior do mesmo, é a de recolha dos dados presente na parametrização e não a de renderização do mesmo. Desta forma a data coincide com a recolha dos dados da BD;
- Na parametrização dos horários a visibilidade da paragem de referência é forçada a verdadeiro;
- É assumido que os tipos de dia e as épocas do ano nunca são removidos da BD para manter o histórico;
- A notificação da existência de novos tipos de dia e épocas do ano só deve aparecer se esses tipos de dia e épocas do ano estiverem serviço chapas associado. O utilizador da aplicação XTraN Passenger é responsável pela sua parametrização com a definição das épocas do ano, tipos de dia, serviço chapas e *schedules*;
- Criar um algoritmo *force-directed* parametrizável e com um domínio isolado do problema, permitindo ser reutilizado;
- Usar a norma WGS84 para representar coordenadas geográficas;
- Os ficheiros de projecto do DynPublic têm a extensão “.xtran”;
- Para fazer uso das novas APIs GeoAPI e NetTopologySuite a solução encontrada passou pela criação de um projecto isolado contendo as duas versões das APIs. Os parâmetros e o retorno das funções deste projecto isolado são objectos da versão antiga, sendo as funcionalidades da nova API usadas internamente. O objectivo desta decisão é a retro compatibilidade.

## 5.7.2 Desafios Encontrados

Ao longo do decorrer do projecto, surgiram alguns problemas relacionados com a implementação que merecem ser enumerados:

- No Report Viewer ao exportar para Excel as imagens só aparecem se estiverem todas no formato PNG;

- Para o GTFS timetablepublisher [104] funcionar os ficheiros tem que estar em ANSI e não em UTF-8;
- Produzir um plug-in para o XTraN Passenger moderno em tecnologia sem comprometer o funcionamento da aplicação principal e mantendo o seu estilo gráfico;
- Serialização de objectos em XML, problemas de circular reference, optou-se por serializar em binário;
- Se quisermos ter dois métodos com o mesmo nome mas parâmetros diferentes no que se refere ao tipo de objecto, é necessário ter as referências dos dois tipos de objecto quando o método é chamado. Para contornar esta situação optou-se por criar dois métodos de nome diferente;
- Foi utilizada a *framework* NetTopologySuite versão 2.11 baseada na JTS Topology Suite [105] que assume que as geometrias são definidas em coordenadas cartesianas, sendo incompatíveis com as coordenadas em WGS84. Para melhor compreender o problema em causa é necessário tomar conhecimento das diferenças entre vários sistemas de coordenadas como o Cartesian, Spherical, Projected e Geographic coordinate systems. Existem projectos que utilizam geographic coordinate systems como Proj.Net [106] e DotSpatial [107]. Como resultado, a melhor solução passa por converter as coordenadas de WGS84 para um sistema de coordenadas cartesianas e efectuar as operações posteriormente;
- Através da utilização da biblioteca DotSpatial podemos converter as coordenadas da geometria em WGS84 para um sistema de coordenadas UTM que seja compatível com a localização da geometria que queremos manipular e posteriormente aos cálculos voltar a converter o resultado em WGS84.

Em seguida é apresentado o capítulo de resultados, no qual são dados a conhecer os resultados dos testes efectuados ao módulo DynPublic e às suas funcionalidades.

## 6 Resultados

---

Como resultado foi construída uma aplicação que disponibiliza um conjunto de funcionalidades relacionadas com a criação de informação destinada aos utilizadores dos transportes públicos e ainda permite o cálculo de desvio de rota. Esta aplicação é na realidade um módulo integrável com a aplicação XTraN Passenger, passando este a dispor destas funcionalidades num menu apropriado para o efeito. Esta aplicação exigiu não só um trabalho de engenharia aplicada a um conjunto de problemas mas também um trabalho de investigação complementar na área dos SpiderMaps.

Este capítulo apresenta os resultados obtidos do desenvolvimento do projecto e dos testes efectuados ao longo do desenvolvimento da aplicação. O nível de detalhe irá variar para cada secção, sendo por vezes necessário consultar anexos. Os resultados mais relevantes provêm da integração do módulo DynPublic com a aplicação XTraN Passenger, da implementação dos formatos GPX e GTFS e dos testes aos algoritmos produzidos.

### 6.1 Integração DynPublic - XTraN Passenger

O módulo DynPublic foi desenvolvido desde início com o requisito de ser acoplado ao XTraN Passenger. Este requisito foi cumprido com recurso à implementação de interfaces de software e utilização de componentes gráficos compatíveis.

A actual estrutura da solução XTraN Passenger tem um mecanismo de adição de módulos, a aplicação ao arrancar procura quais dos DLLs compilados implementa a interface *IMenuPlugin* e carrega-os. Na prática, se quisermos adicionar um módulo a uma instalação do XTraN Passenger em produção bastaria adicionar os ficheiros resultantes da compilação do módulo.

A forma de integração escolhida seguiu os seguintes passos:

1. Adicionar todos os projectos da solução DynPublic à solução XTraN Passenger;

2. Confirmar se é necessário adicionar alguma das configurações presentes na solução DynPublic à solução XTraN Passenger;
3. Adicionar a referência para o projecto de arranque da solução DynPublic ao projecto principal da solução XTraN Passenger;
4. Recompilar a solução XTraN Passenger e verificar se existem erros, em caso afirmativo devem-se comumente a referencias, caminhos ou qualquer outra incompatibilidade.

Pode pensar-se que sempre que pretendemos implementar o sistema levaremos todos os módulos, no entanto recorreremos aos projectos de *setup*, o *Windows Installer Project* e assim criar instalações com os componentes que desejarmos.

Como resultado dos testes de integração detectaram-se os seguintes problemas:

- Ao adicionar a *tab* do DynPublic à aplicação principal, esta aparece na última posição e por cima das restantes, no entanto não tem *focus*, estando a primeira seleccionada;
- O XTraN Passenger utiliza uma versão do SharpMap editada por Ricardo Silva Pedro (ex colaborador Tecmic) e o DynPublic outra versão editada por Frank Braunschweig (colaborador externo), por esta razão o nome do DLL do SharpMap originalmente presente na compilação do XTraN Passenger foi alterado. Ainda assim podiam ocorrer problemas relacionados com o namespace, isto não acontece porque as duas referências nunca existem em simultâneo ou seja no mesmo projecto;
- Versão do componente gráfico ComponentFactory.Krypton que em alguns projectos está referenciado para a versão 4.3.0 e noutros a 4.3.2. Possivelmente as diferenças entre as duas versões não são significativas, permitindo o funcionamento da aplicação;
- A versão do Microsoft Report Viewer usada no XTraN Passenger é a 2008 e a utilizada no módulo DynPublic é a 2010, pelo que foi necessário fazer a actualização dos relatórios presentes no XTraN Passenger para a versão 2010.

Apesar destes problemas a aplicação XTraN Passenger em conjunto com o módulo DynPublic funcionaram sem falhas.

Todos os problemas identificados foram corrigidos, estando apenas em curso a migração do SharpMap para a última versão.

## 6.2 Horários

Tal como já foi dado a conhecer anteriormente neste documento, recorreu-se à biblioteca LINQtoCSV para criar os ficheiros que compõe o formato GTFS.

Como forma de validar se a informação presente no conjunto de ficheiros que compõe o formato estava correcta, recorreram-se à ferramenta FeedValidator que permite detectar qualquer erro que exista nos ficheiros gerados e à ferramenta ScheduleViewer que faz a geração de horários a partir do formato GTFS e o resultado foi comparando com os horários produzidos pelo DynPublic. No Anexo V, são dados a conhecer os resultados produzidos pela aplicação com recurso a capturas de ecrã.

## 6.3 SpiderMaps

Os princípios de desenho evoluíram ao longo da história dos mapas esquemáticos. Quando combinados, estes princípios originam um mapa de melhor qualidade. A medição da qualidade do mapa é uma tarefa difícil, sendo essencial avaliar os resultados através de critérios. Em alternativa pode ser medida a qualidade do mapa manualmente, avaliando o desempenho dos participantes ao utilizar o mapa para o fim que foi concebido.

Os testes realizados não se limitam a avaliar a qualidade do resultado final, mas também a verificar se a implementação do algoritmo segue o funcionamento esperado.

Como forma de avaliar a qualidade do resultado produzido pretende-se testar as seguintes hipóteses:

1. O mapa criado permite encontrar o caminho a tomar com mais facilidade;
2. O mapa criado é mais agradável visualmente do que o mapa geográfico.

Para testar estas hipóteses, foi criada uma função de avaliação que compara o mapa produzido com a versão original, tendo em conta algumas métricas que definem o que é um bom mapa. A classificação resultante da avaliação dos resultados produzidos pode ser vista no Anexo VII junto de cada teste realizado.

Com a criação de um algoritmo *force-directed* parametrizável, é pretendido ter um maior controlo sobre o resultado produzido. A lista de testes que permitiu avaliar a qualidade da implementação do algoritmo é a seguinte:

1. Teste ao cálculo das forças repulsivas e atractivas entre os vértices e ao bom funcionamento da lei de coulomb e Hooke com o objectivo de calibrar o algoritmo, determinando os valores das constantes utilizadas no calculo das forças;
2. Simonetto et al [80] afirma que remover as forças repulsivas entre os vértices da mesma linha faria com que as curvas fossem eliminadas. Esta técnica foi testada no algoritmo produzido, não tendo sido obtido nenhum resultado relevante para manter esta implementação;
3. Teste à eficácia das parametrizações e ao seu correcto funcionamento e combinação, determinação de algumas parametrizações para a realização de testes. Foram criadas onze parametrizações sendo elas:
  - Standard – Parametrização base de onde surgem todas as outras parametrizações, determinada por tentativa e erro;
  - StraightLine - Após a execução do algoritmo, as linhas são tornadas direitas se estiverem próximo dessa posição;
  - Repulsive - Aumento da constante de repulsão, sendo pretendido criar um esquema mais alargado e disperso, afastando os vértices;
  - PushToOrthogonal - Após a execução do algoritmo, a coordenada em  $X$  ou em  $Y$  é igualada caso os vértices estejam afastados em  $X$  e em  $Y$  uma distância inferior ao threshold;
  - PushOriginal - Aplicação de uma força atractiva entre o vértice e a sua posição original, fazendo com que o resultado final seja aproximado ao inicial;
  - MergeCloseNodes - paragens próximas serão fundidas e ficarão na mesma localização;
  - MantainCrossConn - Impede que o algoritmo desfaça os cruzamentos existentes;
  - MantainDistance - A distância entre os vértices é mantida ao longo da execução do algoritmo;
  - LimitMaxDisplacement - Os vértices apenas são movidos se não passarem

um deslocamento máximo permitido;

- *FixNodes* - A posição inicial e final dos vértices das linhas é mantida, assim como a dos vértices comuns entre as linhas;
  - *DistanceBetweenNodes0.5* – Limita a aproximação dos vértices até 50% da distância original;
4. Testes para obtenção de valores aceitáveis para os parâmetros, sendo o objectivo a criação de uma parametrização por omissão;
  5. Testes com variação da quantidade de dados, permitindo avaliar a capacidade do algoritmo para lidar com redes de diferentes dimensões;
  6. Teste com diferentes *datasets*, permitindo avaliar a uniformidade do comportamento do algoritmo;
  7. Testes à função de avaliação, verificar se a classificação permite comparar quantitativamente os resultados produzidos;
  8. Testes de desempenho à aplicação protótipo;
  9. Teste à integração com o SharpMap.

Uma ilação que se retirou dos testes, foi que os vértices extremamente próximos devem ser fundidos num só, sob pena de no resultado final ficarem bastante afastados. Esta acção é também justificada pelo facto de paragens muito próximas representarem a mesma paragem mas em sentidos de trânsito diferentes.

Em seguida são dados a conhecer os dados de teste utilizados na realização dos testes.

## 6.4 Dados de Teste

Numa primeira fase foram utilizadas as bases de dados de teste dos clientes Tecmic S.A. Auto Viação Chapecó [99] e COESA [108]. Numa fase de desenvolvimento mais avançada, surgiu a necessidade de comparar os resultados obtidos com outros trabalhos já existentes. A tese de Jonathan Stott [51] fornece *datasets* das principais redes metropolitanas, tendo sido utilizadas as seguintes:

1. Atlanta Metropolitan Area Rapid Authority (MARTA) Rail Map [109];
2. Auckland [110];

3. Madrid [111];
4. San Francisco [112];
5. Stockholm TunnelbanaMap [113];
6. Sydney [114];
7. Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA) Metro System Map [115].

Foi no entanto necessário fazer algumas correcções por existirem alguns erros de coordenadas.

**Tabela 7 - Características dos datasets utilizados.**

<b>Mapa</b>	<b>Nº de Estações</b>	<b>Nº de Linhas</b>	<b>Nº de Arestas</b>
Atlanta	39	2	36
Auckland	39	2	54
Madrid	190	11	227
San Francisco	43	6	98
Stockholm	100	3	102
Sydney	173	10	287
Washington	83	5	105

Foram utilizados mapas de metro para dados de teste, por serem comumente utilizado em trabalhos de investigação. Diversos autores como Jonathan Stott [51], Martin Nöllenburg [52], Peter Rodgers e Daniel Chivers [116] utilizaram estes e outros *datasets* nos seus trabalhos. Outra razão da sua utilização deve-se ao facto de a rede do metro das principais cidades estar referenciada geograficamente em mapas de domínio público, sendo fácil de obter informação sobre a rede.

O próximo capítulo dá conta das limitações do sistema de parametrização.

## **6.5 Limitações da Parametrização**

A parametrização do algoritmo para a produção de resultados satisfatórios a cada execução é algo complexa. A natureza do *dataset* influencia o comportamento do algoritmo, uma vez que o cálculo da força atractiva varia linearmente com a distância e a força repulsiva varia com o inverso do quadrado da distância entre os vértices. Assim, no caso de termos dois *datasets* onde apenas varia a dimensão dos pontos e se mantêm a mesma topologia, o

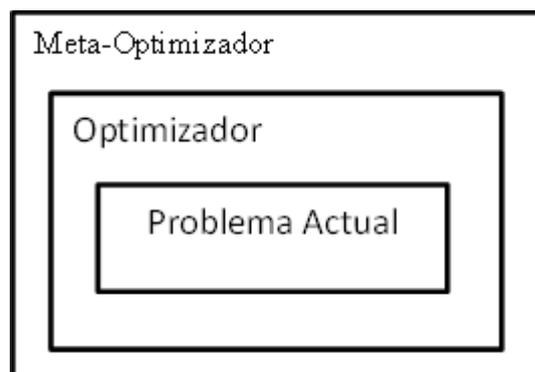
resultado obtido não é igual.

A solução passa pela implementação de um mecanismo que permita determinar a parametrização indicada para um *dataset*, ou ainda várias parametrizações diferentes para a obtenção de vários resultados para o mesmo problema. Estas parametrizações podem estar previamente definidas ou ser automatizadas.

Na optimização clássica, é feita uma estimativa inicial para o valor óptimo, e esta solução é então continuamente refinada até que algum critério seja satisfeito, como um valor de aptidão, ou um certo número de iterações ter sido realizado [117].

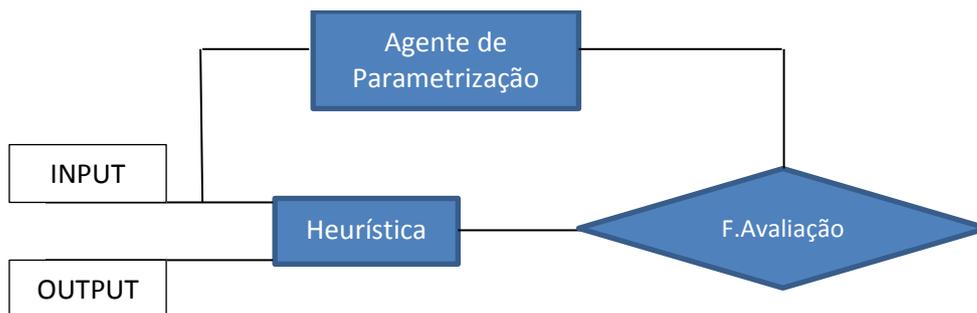
Métodos de optimização que precisam de uma aptidão para orientar a busca por um ideal, por exemplo maximizar um custo ou erro objectivo, são candidatos a ser optimizados.

Esses métodos de optimização têm muitas vezes parâmetros que influenciam o seu comportamento e eficácia, a técnica de Meta-Optimização, presente na Figura 22, serve para ajustar esses parâmetros comportamentais de um método de optimização, através de uma camada adicional de optimização.



**Figura 22 – Técnica de Meta-Optimizador**

Os sistemas de controlo são, na maioria das vezes, baseados no princípio de realimentação. Este princípio pode ser aplicado a um conjunto vasto de problemas práticos de forma fácil [118]. A Figura 23, é um esquema representativo do funcionamento de um sistema realimentado. Um sistema deste género tem como objectivo afinar a parametrização, através da avaliação do resultado produzido.



**Figura 23 - Sistema de LoopFeedback.**

## 6.6 Desvio de Rota

Foram efectuados testes à implementação do formato GPX, nomeadamente ao processo de leitura e interpretação dos ficheiros por parte do SharpMap, uma vez que se recorreu à utilização do plugin GPX Provider [36]. Estes testes correram sem problemas de maior, sendo apenas de referir que foram necessárias algumas alterações para que o GPX Provider suportasse as versões 1.0 e 1.1 do GPX.

Segue-se o capítulo nomenclado conclusões e trabalho futuro, visando analisar o trabalho produzido dando a conhecer tanto aspectos bons e menos bons do trabalho, assim como propostas de melhoramento.

## 7 Conclusões e Trabalho Futuro

---

Ao longo do documento procurou-se implementar uma solução que fosse capaz de satisfazer todos os objectivos propostos. Deste trabalho surgiram várias áreas de investigação distintas como a geração de informação ao público incluindo horários, mapas esquemáticos e *SpiderMaps* e também o cálculo de desvio de rota.

Fim do projecto, é necessário fazer um balanço final. Este balanço analisa o cumprimento dos prazos e objectivos definidos e faz uma análise de risco, permitindo aferir se os acontecimentos ao longo do desenvolvimento foram previstos. Neste capítulo também se discutem os principais resultados obtidos, as limitações do trabalho realizado e expõem-se propostas de trabalho futuro.

### 7.1 Síntese da Dissertação

O projecto foi planeado para dez meses de trabalho, tal como está presente na proposta inicial do projecto (ver Anexo I). No entanto o âmbito do projecto foi alterado, tendo sido adicionadas novas tarefas e alteradas as suas prioridades, o que prelongou o projecto por mais dois meses. Estas decisões de alteração ocorrem frequentemente em projectos empresariais, pois a gestão empresarial exige alguma agilidade de prazos e prioridades aos projectos.

Acredita-se que o trabalho desenvolvido e apresentado nesta dissertação torne possível a obtenção de um conjunto geral de contributos para a melhoria prática dos processos de gestão de frotas de transporte público de passageiros a que o DynPublic se propôs suportar.

### 7.2 Horários

A construção dos horários requereu a compreensão do domínio da aplicação XTraN Passenger, uma vez que a fonte de dados é a sua BD. Em seguida é necessário manipular e gerir esta informação, pelo que para além da definição de um formato intermédio de dados

para representar a informação horária em XML, foi adoptado o formato GTFS para a sua exportação para o Google Transit e criação de um possível ponto de integração com outras aplicações. Após termos a informação horária proveniente da BD do XTraN Passenger e a parametrização do horário, é possibilitada a criação do horário nos formatos HTML, Doc, Excel e PDF. Esta quantidade de formatos de exportação é possível com recurso ao NVelocity e ao Microsoft Report Viewer.

### **7.3 Mapas Esquemáticos**

A tarefa de esquematização não é linear, pelo que existem apenas algumas *guidelines* e conhecimento adquirido de outros trabalhos e casos de estudo. Os mapas esquemáticos produzidos neste trabalho tem como objectivo informar o passageiro sobre quais as carreiras que pode apanhar na paragem onde se encontra e quais os seus destinos.

O desafio passou por pegar na representação georeferenciada das carreiras e através da implementação de algoritmos, criar uma esquematização mais fácil de entender e que mais rapidamente satisfaz os objectivos. O algoritmo produzido tem três formas de funcionamento e é permitido editar o resultado produzido gráficamente através do motor de GIS SharpMap.

### **7.4 SpiderMaps**

O desenho deste tipo de mapas foi conseguido devido às características do algoritmo produzido. A abordagem escolhida favoreceu a rapidez em detrimento da solução optima, obtendo-se resultados interessantes com pouco tempo de processamento. Assim é possibilitada a criação destes mapas em tempo útil, não sendo necessário que o utilizador da aplicação perca o contexto da tarefa na aplicação. É ainda permitido ver a evolução do algoritmo a cada iteração, tornando a aplicação interactiva.

A não obtenção de uma solução optima deve-se à utilização de algoritmos baseados em *force-directed*. Por esta razão pode dizer-se que é uma forma de guiarmos a esquematização desde a sua forma original até um estado que satisfaça determinadas restrições. É bastante eficaz em problemas simples onde existem poucos vértices e poucas ligações, mas quando trabalhamos com problemas complexos pode-se tornar difícil chegar a um resultado satisfatório.

Para obter o resultado desejado foi necessário adicionar algumas restrições de desenho, como por exemplo, ligar o vértice ao ponto de origem através de uma força, restringindo a

movimentação dos vértices para longe da sua posição original. Foram também testados diversos valores para as variáveis do algoritmo e efectuados variados testes na tentativa de melhorar o resultado produzido.

Este grupo de algoritmos têm uma longa história e novas variantes aparecem todos os anos. O seu funcionamento intuitivo e simples atrai investigadores de diferentes áreas e encontram-se imensas implementações diferentes, sendo certo que este tipo de algoritmo irá continuar a fazer parte de muitos projectos. O objectivo será um algoritmo escalável e capaz de suportar a dinâmica dos gráficos utilizados nos dias de hoje.

A contribuição deste trabalho relaciona-se com a criação de um algoritmo *force-directed* parametrizável para a criação de *SpiderMaps*. Como contribuições acessórias podemos enumerar a identificação de restrições ao desenho e a utilização de GDI+ e ShapMap para representar na aplicação o mapa gerado.

## **7.5 Desvio de Rota**

Primeiramente a preocupação foi representar a informação necessária, pelo que foram analisados alguns formatos de dados e optou-se pelo GPX. A partir deste momento de decisão, o objetivo passou a ser encontrar uma forma de efectuar o cálculo do desvio de rota. Recorreram-se a bibliotecas de cálculo geométrico, em conjunto com motores de GIS para efectuar a manipulação da informação geográfica e efectuar o cálculo do desvio de rota. No final é compilado um relatório com essa informação.

Acredita-se fortemente que o caminho seguido é o mesmo que leva à construção de um mecanismo de detecção de desvios de rota fiável e inteligente, bastando credenciar-lhe mais inteligência.

## **7.6 Discussão dos Resultados**

Ao longo do decorrer do projecto existiu a necessidade de tomar decisões, passando algumas delas pela definição de requisitos e escolha de tecnologias a utilizar. Primeiramente foram determinados os requisitos com base na experiência da empresa, do seu contacto com os clientes e também na análise de produtos concorrentes.

Não faltaram alternativas tecnológicas para a realização do projecto, no entanto foi necessário tomar as decisões certas para produzir uma solução com o risco associado reduzido. Como exemplo, temos a utilização de bibliotecas que podem ter dependências que entrem em conflito com a restante solução.

Em seguida irá ser realizada uma análise ao resultado produzido para tentar avaliar os resultados e detectar quais os pontos fortes e fracos do trabalho realizado.

O resultado final produzido é bastante satisfatório para a entidade de acolhimento Tecmic S.A., tendo cumprido com os objectivos inicialmente propostos e seguido o rumo ditado pela empresa.

A aplicação integra perfeitamente com o XTraN Passenger, adicionando-lhe as funcionalidades de que dispõe, sendo elas a criação de horários, mapas esquemáticos orientados à paragem, uma aproximação aos *SpiderMaps* e ainda o cálculo de desvio de rotas. Ao analisar cada uma destas funcionalidades em separado podemos determinar pontos fortes e fracos de cada uma delas.

Os horários produzidos estão organizados por tipos de dia e épocas do ano, produzindo um resultado que corresponde às expectativas. No entanto, devido ao funcionamento do Microsoft Report Viewer, os *templates* não são editáveis pelo utilizador. Em alternativa o resultado produzido pela ferramenta pode ser exportado para PDF, Excel ou Word, o que permite a sua edição à posteriori.

Os mapas esquemáticos orientados à paragem permitem, de forma simplificada, dar a conhecer ao passageiro quais as carreiras que passam na paragem, assim como quais os seus itinerários. O algoritmo produzido para a criação destes esquemas funciona com base nos ângulos que as ligações fazem entre si e na cardinalidade de ligações existente em cada paragem., com este funcionamento nem sempre produzem resultados agradáveis (*eye pleasing maps*), sendo necessário efectuar ajustes finais manualmente.

A construção dos *SpiderMaps* foi uma tarefa que levou bastante tempo a desenvolver, pela sua novidade e necessidade de suporte científico. Pode-se dizer que o resultado produzido é uma aproximação, uma vez que ainda não tem o aspecto deste tipo de mapas. Este facto deve-se às decisões tomadas ao longo do decorrer do projecto que privilegiaram um resultado rápido em detrimento da perfeição. Este objectivo foi conseguido com a construção de um algoritmo *force-directed*. Apesar dos bons resultados produzidos pelo algoritmo, existe espaço para melhoramentos.

No que se refere à avaliação e execução de percursos, o resultado produzido está além daquilo que se esperava. Tal facto deve-se à falha de capacidade do XTraN Passenger em fornecer a informação necessária a esta funcionalidade.

A utilização do motor de GIS SharpMap, condiciona bastante o desempenho da aplicação, uma vez que este componente é usado na maioria das funcionalidades da aplicação para edição gráfica. Outro aspecto que colocou em causa a utilização do SharpMap foi a necessidade de implementar uma serie de funcionalidades para agilizar e possibilitar o processo de edição.

Em suma podemos dar por bastante satisfatórios os resultados produzidos, sendo fortemente sustentados pela sua dimensão, complexidade e suporte científico.

Em seguida são dadas a conhecer as limitações conhecidas do trabalho.

## **7.7 Limitações do Trabalho Realizado**

Ao longo da dissertação é notório a existência de limitações e restrições que, de alguma forma, condicionaram o trabalho e afectaram claramente o resultado

Primeiramente é de enfazar o facto de se tratar de um projecto realizado em ambiente empresarial, o que só por si adicionou bastantes limitações.

Apesar de haver uma grande liberdade na implementação e decisão tecnica, quem sempre tomou as decisões finais e guiou o projecto foram os coordenadores com quem tive oportunidade de trabalhar na empresa, adicionando tarefas e alterando a duração de outras conforme se iam mostrando resultados, são exemplo certas funcionalidades que não foram melhoradas por se considerar que estavam em pleno para os objectivos da empresa. Estando este trabalho fortemente ligado ao desenvolvimento de algoritmos, foi requerido junto da empresa mais poder computacional mas tal não chegou a acontecer em tempo útil. A interface do módulo DynPublic segue o desenho do XTtaN Passenger, no entanto a realização de testes com utilizadores não pode ficar de parte, mas a verdade é que não chegou a ser realizada. A duração do estágio foi estendida para que todos os objectivos fossem cumpridos, no entanto ainda houve necessidade de serem executadas tarefas de pesquisa, análise e documentação fora de horas e em periodo de férias para cumprir com os objectivos pessoais e concluir o mestrado com o maior sucesso possível.

## **7.8 Desenvolvimentos Subsequentes e Propostas de Trabalho Futuro.**

O trabalho desenvolvido incluiu algumas tarefas que tinham um caracter mais virado para a investigação como é o caso do desvio de rotas e a construção dos *SpiderMaps*, o que faz

com que ainda seja necessário algum trabalho para melhorar os algoritmos.

Foi ainda lançada uma ideia para proporcionar a conclusão das tarefas em falta presentes na Tabela 8. A ideia passaria pela recolha de opinião sobre a aplicação e conhecimento do negócio, acordando com um cliente em instalar-lhe o módulo gratuitamente com o retorno de obter uma avaliação do produto onde se inclui uma lista de possíveis melhoramentos e alterações.

As tarefas que se encontram na Tabela 8 ficaram por concluir, em seguida serão explicadas em detalhe.

**Tabela 8 - Tarefas por concluir.**

<b>Identificador Tarefa</b>	<b>Descrição Tarefa</b>
1	Análise de Desempenho e Usabilidade.
2	Desenvolvimento de ferramentas de Administração/Configuração.
3	Testes e Validações.

No que se refere à tarefa de análise de desempenho e usabilidade ficou a faltar a colocação de um possível cliente da aplicação a realizar as tarefas que a aplicação disponibiliza, de modo a serem detectados problemas de desempenho e usabilidade.

No que se refere à tarefa desenvolvimento de ferramentas de administração/configuração ficou a faltar a criação de alguns formulários para configurar a aplicação, permitindo alterar algumas configurações que actualmente estão em ficheiros de configuração.

Por fim ficou por concluir a tarefa de testes e validações, tendo ficado para continuação futura.

Existem alguns melhoramentos de interface a realizar, por forma a melhorar o aspecto e a funcionalidade. Estes melhoramentos ficaram para trabalho futuro devido à actualização das bibliotecas de componentes gráficos que estava a decorrer em paralelo e que tinha dependências alheias ao projecto DynPublic, sendo necessário à posteriori desta alteração validar e corrigir alguns problemas que possam surgir.

Outro aspecto a ter em conta para trabalho futuro não é menos importante, refere-se à manutenção do sistema. Estas tarefas incluem não só correcções de anomalias que o sistema possa ter ou a adição de alterações pedidas pelo cliente mas também manter o

sistema com as mais recentes tecnologias de forma a manter o sistema actualizado e apelativo para os utilizadores.

### **7.8.1 Horários**

Um outro exemplo de melhoramento a realizar será a incorporação de mais informação útil no formato GTFS, sendo por exemplo interessante incluir os tarifários praticados pela operadora de transportes.

É também importante referir que os formatos de dados utilizados, como é o caso do GTFS, sofrem actualizações constantes ao longo do tempo, sendo necessário manter o sistema actualizado.

O módulo criado gera informação que permanecerá estática nas paragens e outros locais. Em alternativa surgiu a ideia de através de hardware baseado em ecrãs, seria possível manter a informação actualizada e à distância. Este tipo de soluções é dispendiosa mas a sua implementação pode tornar-se viável a partir do momento que o hardware necessário possa ser utilizado em conjunto com outros sistemas. Como exemplo temos sistemas de publicidade variável e de tracking dos transportes em tempo real.

### **7.8.2 Mapas Esquemáticos**

Relativamente ao componente de GIS SharpMap estão listadas algumas funcionalidades a implementar para facilitar a edição dos esquemas produzidos pela aplicação, entre as quais exportar o mapa para outros formatos que não apenas bitmap, como o SVG.

### **7.8.3 SpiderMaps**

Através dos testes realizados, confirmou-se que algoritmos baseados em *force-directed* podem ser utilizados para a geração automática de mapas esquemáticos. Os resultados produzidos tentam satisfazer todos os critérios definidos na parametrização. Não obstante, há espaço para melhorias. O funcionamento actual do algoritmo não produz um resultado final que dispense de ajustes, isto deve-se ao facto de o algoritmo dificilmente satisfazer os critérios definidos na totalidade. Por esta razão é difícil obter mapas totalmente ortogonais ou mapas que respeitem a topologia original na totalidade ou ainda mapas que não tenham nenhuma sobreposição de pontos ou linhas. Em adição, não suporta ajuste automático de legendas.

A problemática da colocação de legendas não foi considerada, esta tarefa é realizada

posteriormente podendo ocorrer casos onde não restou espaço suficiente no desenho para que as legendas possam ser colocadas sem problemas de sobreposição.

O algoritmo não produz um layout final, sendo necessário efectuar ajustes à posteriori. O algoritmo poderá sofrer melhoramentos para reduzir a quantidade de ajustes necessários.

Estão planeados mais testes, com novos *datasets*, como a rede metropolitana de Paris, Nova York, Moscovo, Bucareste, Londres, México, Recife e Toronto. Está também ponderada a aplicação de novas técnicas de desenho, como forma de combater os problemas detectados.

Acredito que a geração automática não obtém significativamente melhor qualidade que a geração manual por um *designer* gráfico. No entanto, as ferramentas automáticas são certamente uma forma rápida de produzir um bom resultado rapidamente.

Considero necessário definir o futuro do trabalho realizado. Existe a hipótese de manter o formato desenvolvido ou fazer uma avaliação e determinar os próximos passos para aproximar mais o resultado de um SpiderMap.

#### **7.8.4 Desvio de Rota**

Relativamente ao cálculo do desvio de rota, o algoritmo pode ser melhorado, por forma a ser mais preciso e reduzir os falsos positivos e os falsos negativos. Para isso existe um conjunto de informação que pode ser adicionado como:

- Informação mais detalhada sobre a rota incluindo pontos de viragem e a sua topologia;
- Uma lista dos pontos ordenada, representativa das paragens do veículo;
- Planeamento horário;
- Informação de contexto ou secundária, como pontos de interesse, ruas próximas, etc.

Seria interessante tornar a detecção de desvio de rotas um sistema de alerta, fazendo o cálculo em tempo real ou em intervalos curtos de tempo. Na aplicação de gestão de frotas, ao ser detectado um desvio de rota, este poderá ser visto por um operador, permitindo determinar a sua razão, seja por motivos de engano, roubo, obstrução da via ou decisão do motorista;

## 7.9 Conclusão

Este projecto foi desenvolvido no meio empresarial onde a entidade empregadora é a Tecmic S.A. Desde a criação da proposta, que o objectivo seria tornar o projecto num produto comercializável, tal foi enfatizado à medida que se iam mostrando resultados. É de destacar que este ambiente é muito mais instável e mutante do que o ambiente académico, pelo que me deparei com os seguintes desafios:

- Trabalhar com OpenSource;
- Desenvolver sobre o SharpMap;
- Integrar com um produto já existente;
- Conversão e projecção de coordenadas;
- Alteração da especificação das normas e formatos utilizados durante o desenvolvimento, como é o caso do GTFS;
- Capacidade de tomar a maioria das decisões de implementação.

Chegando ao fim do projecto é possível identificar quais os acontecimentos que mais marcaram o projecto, sendo eles os seguintes:

- Adição na proposta de projecto de uma tarefa que visa a avaliação de execução de percursos, com vista à detecção de desvio de rotas;
- Adopção da ferramenta Microsoft Project Server para gestão de projectos, havendo portanto uma fase de adaptação e de experimentação à qual todos os elementos do departamento foram sujeitos;
- Aquando o trabalho se encontrava numa fase terminal, onde estavam a ser executadas tarefas de afinação, ajustes e melhoramentos, foi decidido parar esse trabalho pois estas tarefas seriam executadas mais tarde numa fase pré-instalação no cliente;
- A equipa de desenvolvimento solicitou-me para executar tarefas de outros projectos devido a sua urgência, tendo eu aceitado;
- Deste o início do projecto a 12 de Setembro de 2012, ocorreram 2 alterações de chefia na unidade a que pertença;

- Ao longo do período de desenvolvimento do projecto também ocorreram alterações na equipa de desenvolvimento;
- A empresa apresentou-me uma proposta de contrato para entrar em vigor pós-estágio;
- O produto resultante deste trabalho foi incluído numa proposta para Luanda, existindo pressão para entrar no mercado, com grande probabilidade de surgirem novos requisitos e alterações;
- O produto resultante deste trabalho foi incluído no portefólio da empresa, sendo apresentado aos clientes aquando a candidatura a novos projectos.

Olhando para os principais desafios encontrados e acontecimentos ao longo do projecto, tomamos consciência de que grande parte dos riscos previstos ocorreram de facto, afectando o normal decorrer do projecto. Em seguida são descritas as consequências provenientes dos principais acontecimentos:

- As alterações ao âmbito do projecto acrescentam incerteza ao bom decorrer do projecto, afectando directamente o plano de projecto;
- As alterações na estrutura da empresa condicionam grandemente os projectos, pois as novas pessoas terão que ser inteiradas do projecto e estar a par de toda a logística e funcionamento dos processos envolventes;
- Quando os projectos são passados a produtos e tem intervenientes externos ou parcerias, exigem um bom planeamento para que as dependências não se tornem bloqueantes, afectando os *timings* do projecto;
- A utilização de componentes *OpenSource* traz vantagens e desvantagens, sendo que neste projecto foi necessário investir algum tempo para actualizar as APIs externas, devido à inexistência de retro compatibilidade e à existência de diferentes versões de bibliotecas na solução que tiveram de ser uniformizadas;
- A inclusão deste projecto no portefólio e em propostas aos clientes adiciona prestígio ao trabalho efectuado e incrementa consequentemente a sua responsabilidade e garantia de funcionamento.

Tendo em conta os objectivos presentes da proposta, é com satisfação que é possível olhar o resultado e dizer que os objectivos foram cumpridos. Com o levantamento das

funcionalidades da aplicação, investigação e análise tecnológica, pesquisa do trabalho desenvolvido na área e com o planeamento efectuado, foi possível levar o desenvolvimento do projecto por um bom caminho.

Foi bastante importante o planeamento que fiz, mesmo que em ficheiros de texto e de folha de cálculo, para conseguir ter um maior controle do projecto. Esta necessidade deveu-se à baixa granularidade de tarefas presente no Microsoft Project Server gerido pelos orientadores da unidade.

O trabalho mostrou que é perfeitamente possível automatizar as tarefas de esquematização de redes de transporte com recurso a algoritmos introduzidos na aplicação de gestão de frotas.



## ***Bibliografia***

---

- [1] A origem do transporte público de passageiros, o "omnibus". [Online]. Available: <http://www.herodote.net/histoire/evenement.php?jour=18260810>
- [2] G. de Monterey, *O Porto: origem, evolução e transportes*. Tip. Sociedade de Papelaria, 1971. [Online]. Available: [http://books.google.pt/books?id=ViP\\_GwAACAAJ](http://books.google.pt/books?id=ViP_GwAACAAJ)
- [3] *The Handbook of Logistics and Distribution Management*", 2nd edition, Alan Rushton, John Oxley, Phil.
- [4] Z. Yefu and L. Zaiyue, "Research on logistics delivery route optimization based on genetic algorithm," in *E-Business and E-Government (ICEE), 2010 International Conference on*, may 2010, pp. 3407–3410.
- [5] K. Sakakibara, T. Tsuda, and I. Nishikawa, "Simulated annealing method based on recursive problem decomposition for vehicle routing problems," in *SICE Annual Conference 2010, Proceedings of*, aug. 2010, pp. 1016–1020.
- [6] L.-O. Kovavisaruch, P. Lertudomtana, and S. Horungruang, "Management truck tire information in logistic industry using rfid technology," in *Management of Engineering Technology, 2008. PICMET 2008. Portland International Conference on*, july 2008, pp. 1656–1665.
- [7] (2007, June) Delehaye, M.; Hubaux, D.; Guedria, L.; Legat, J.-D.; Delvaux, T.; Goffard, B.; , "Smart adaptable network device for fleet management and driver coaching," *Telecommunications, 2007. ITST '07. 7th IC on ITS* pp.1-5.
- [8] C. Tarantilis, E. Zachariadis, and C. Kiranoudis, "A hybrid metaheuristic algorithm for the integrated vehicle routing and three-dimensional container-loading problem," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol. 10, no. 2, pp. 255–271, june 2009.
- [9] S. Thong, C. T. Han, and T. Rahman, "Intelligent fleet management system with

concurrent gps gsm real-time positioning technology,” in *Telecommunications, 2007. ITST '07. 7th International Conference on ITS*, june 2007, pp. 1 –6.

[10] D. Stojanovic, B. Predic, I. Antolovic, and S. Dordevic-Kajan, “Web information system for transport telematics and fleet management,” in *Telecommunication in Modern Satellite, Cable, and Broadcasting Services, 2009. TELSIS '09. 9th International Conference on*, oct. 2009, pp. 314 –317.

[11] R. Zantout, M. Jrab, L. Hamandi, and F. Sibai, “Fleet management automation using the global positioning system,” in *Innovations in Information Technology, 2009. IIT '09. International Conference on*, dec. 2009, pp. 30 –34.

[12] A. Alahakone and V. Ragavan, “Geospatial information system for tracking and navigation of mobile objects,” in *Advanced Intelligent Mechatronics, 2009. AIM 2009. IEEE/ASME International Conference on*, july 2009, pp. 875 –880.

[13] M. Alnaanah and A. Aljaafreh, “A simplified method for off-line track matching for fleet managements,” in *Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT), 2011 IEEE Jordan Conference on*, dec. 2011, pp. 1 –5.

[14] A. Aljaafreh, M. Khalel, I. Al-Fraheed, K. Almarahleh, R. Al-Shwaabkeh, S. Al-Etawi, and W. Shaqareen, “Vehicular data acquisition system for fleet management automation,” in *Vehicular Electronics and Safety (ICVES), 2011 IEEE International Conference on*, july 2011, pp. 130 –133.

[15] M. Giacobbe, A. Puliafito, and M. Villari, “A service oriented system for fleet management and traffic monitoring,” in *Computers and Communications (ISCC), 2010 IEEE Symposium on*, june 2010, pp. 784 –786.

[16] C. T. L. N. da Cunha Sardinha Monteiro, “O gps na guerra,” vol. Jun, 2007. [Online]. Available: <http://www.revistamilitar.pt/modules/articles/article.php?id=197>

[17] S. Kumar and K. B. Moore, “The evolution of global positioning system (gps) technology,” *Journal of Science Education and Technology - Springer*, vol. Vol. 11, No. 1 (Mar., 2002), pp. 59-80. [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/40188597>

[18] E. Wang, S. Zhang, and Z. Zhang, “Research on the incomplete constellation gps positioning algorithm aided by altitude,” in *Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010 International Conference on*, june 2010, pp. 2974 –2977.

- [19] M. Mosavi and H. AmirMoini, "Single-frequency gps receivers ionospheric time-delay approximation using radial basis function neural network," in *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*, oct. 2009, pp. 4592 – 4595.
- [20] Xiaoming Li; Lisheng Xu; Yansong Fang; Yujie Zhang; Jilie Ding; Hailei Liu; Xiaobo Deng; , "Estimation of the Precipitable Water Vapor from ground-based GPS with GAMIT/GLOBK," *Geoscience and Remote Sensing (IITA-GRS), 2010 Second IITA International Conference on* , vol.1, pp.210-214, 28-31 Aug. 2010.
- [21] Iyidir, B.; Ozkazanc, Y.; , "Jamming of GPS receivers," *Signal Processing and Communications Applications Conference, 2004. Proceedings of the IEEE 12th* , pp. 747-750, 28-30 April 2004.
- [22] Sundaramurthy, M.C.; Chayapathy, S.N.; Kumar, A.; Akopian, D.; , "Wi-Fi assistance to SUPL-based Assisted-GPS simulators for indoor positioning," *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE* , pp.918-922,Jan.2011.
- [23] Patil, B.; Patil, R.; Pittet, A.; , "Energy saving techniques for GPS based tracking applications," *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2011*, pp.J8-1-J8-10, 10-12 May 2011.
- [24] G. developers - gtfs changes. [Online]. Available: <https://developers.google.com/transit/gtfs/changes>
- [25] Gtfs-realtime. [Online]. Available: <https://developers.google.com/transit/gtfs-realtime/>
- [26] G. Developers. (2012, February) EnglishGeneral transit feed specification reference. [Online]. Available: <https://developers.google.com/transit/gtfs/reference>
- [27] Feedvalidator. [Online]. Available: <http://code.google.com/p/googletransitdatafeed/wiki/FeedValidator>
- [28] Scheduleviewer - the schedule\_viewer application for exploring a feed on a map. [Online]. Available: <http://code.google.com/p/googletransitdatafeed/wiki/ScheduleViewer>
- [29] Pednav. [Online]. Available: <http://www.routeme2.com/products/pednav/>
- [30] Google transit feed project - pednav. [Online]. Available: <http://www.martin-evans.com/portfolio/view/30#nogo>

- [31] (2012, Jun) Transxchange - uk nationwide standard for exchanging bus schedules and related data. UK Department for Transport. [Online]. Available: <http://www.dft.gov.uk/transxchange/>
- [32] E. Pyrga, F. Schulz, D. Wagner, and C. Zaroliagis, "Efficient models for timetable information in public transportation systems," *J. Exp. Algorithmics*, vol. 12, pp. 2.4:1–2.4:39, Jun. 2008. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1227161.1227166>
- [33] Gpx (gps exchange format). [Online]. Available: <http://www.topografix.com/gpx.asp>
- [34] Open geospatial consortium, inc. [Online]. Available: <https://developers.google.com/kml/>
- [35] Opendgis geography markup language (gml) encoding standard. [Online]. Available: <http://www.opengeospatial.org/standards/gml/>
- [36] G. Provider. [Online]. Available: <http://sharpmap.codeplex.com/wikipage?title=GPX%20Provider>
- [37] T. Yamane, T. Sasama, T. Kawamura, and K. Sugahara, "Markup language for designing layout of bus timetables," in *SICE Annual Conference 2010, Proceedings of*, aug. 2010, pp. 2434–2435.
- [38] K. Toshioka, T. Kawamura, and K. Sugahara, "Web application to generate route bus timetables," in *Internet and Web Applications and Services, 2008. ICIW '08. Third International Conference on*, june 2008, pp. 109–114.
- [39] C. Freksa, R. Moratz, and T. Barkowsky, "Schematic maps for robot navigation," 2000.
- [40] S. Avelar and L. Hurni, "On the design of schematic transport maps," *Cartographica The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 41, no. 3, pp. 217–228, 2006. [Online]. Available: <http://sgo.pccu.edu.tw/GEOG/CHI/D/D1/D1A/24B-the%20Design%20of%20Schematic%20Transport%20Map.pdf>
- [41] D. Elroi, "Gis and schematic maps: A new symbiotic relationship," *Proceedings of GIS/LIS88. San Antonio, TX.*, 1988.
- [42] Beck, henry (harry) biography. [Online]. Available: <http://>

www.20thcenturylondon.org.uk/server.php?show=conInformationRecord.67

- [43] T. K. P. DAVID H DOUGLAS, “Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature,” *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 10, pp. 112–122, 1973-10-01. [Online]. Available: <http://utpjournals.metapress.com/content/FM576770U75U7727>
- [44] R. Davidson and D. Harel, “Drawing graphs nicely using simulated annealing,” *ACM Trans. Graph.*, vol. 15, no. 4, pp. 301–331, Oct. 1996. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/234535.234538>
- [45] S. Anand, S. Avelar, J. M. Ware, and M. Jackson, “Automated schematic map production using simulated annealing and gradient descent approaches,” in *GISRUK’07*, 2007.
- [46] T. Barkowsky, L. J. Latecki, K.-F. Richter, and K. Florian Richter, “Schematizing maps: Simplification of geographic shape by discrete curve evolution,” in *Spatial Cognition II*. Springer, 2000, pp. 41–53.
- [47] H. de Fraysseix, J. Pach, and R. Pollack, “How to draw a planar graph on a grid,” *Combinatorica*, vol. 10, no. 1, pp. 41–51, 1990.
- [48] W. Didimo, G. Liotta, and S. Romeo, “Topology-driven force-directed algorithms,” in *Graph Drawing*, ser. Lecture Notes in Computer Science, U. Brandes and S. Cornelsen, Eds. Springer Berlin / Heidelberg, 2011, vol. 6502, pp. 165–176, 10.1007/978-3-642-18469-7\_15. [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-18469-7\\_15](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-18469-7_15)
- [49] S. G. Kobourov, “Force-directed drawing algorithms,” 2004. [Online]. Available: <http://www.cs.brown.edu/~rt/gdhandbook/chapters/force-directed.pdf>
- [50] P. Simonetto, D. Archambault, D. Auber, and R. Bourqui, “EnglishImpred: An improved force-directed algorithm that prevents nodes from crossing edges,” *EnglishComputer Graphics Forum*, vol. 30, no. 3, Jun 2011. [Online]. Available: <http://hal.inria.fr/inria-00605921>
- [51] J. Stott, P. Rodgers, J. C. Martinez-Ovando, and S. G. Walker, “Automatic metro map layout using multicriteria optimization,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 17, pp. 101–114, 2011, <http://www.jstott.me.uk/thesis/thesis->

final.pdf <http://blog.visualmotive.com/2009/automatic-generation-of-transit-maps/>.

[52] M. Nöllenburg. (2005) Automated drawings of metro maps. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.90.3689>

[53] J. Hershberger and J. Snoeyink, “Speeding up the douglas-peucker line-simplification algorithm,” in *Proc. 5th Intl. Symp. on Spatial Data Handling*, 1992, pp. 134–143.

[54] A. C. G. D. Silva and S. ting Wu, “Preserving coincidence and incidence topologies in saalfeld’s polyline simplification algorithm.”

[55] A. Saalfeld, “Topologically consistent line simplification with the douglas-peucker algorithm,” *Cartography and Geographic Information Society*, vol. 26, No. 1, 1999.

[56] S. A. M. Müller and M. Mfiller, “Generating topologically correct schematic maps,” in *In Proc. 9th Int. Symp. on Spatial Data Handling*, 2000, pp. 4–28.

[57] Spidermap for buses from liverpool street. [Online]. Available: <http://www.tfl.gov.uk/tfl/gettingaround/maps/buses/pdf/liverpoolstreet-2161.pdf>

[58] Spidermap for buses from finchley road. [Online]. Available: <http://alanhowesworld.com/Files/London%20Spider%20finchleyroad-2091.pdf>

[59] Transport information maps at waterloo station, london, uk, displaying a london buses "spider map" next to a traditional london underground map. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:London\\_bus\\_tube\\_spider\\_maps.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:London_bus_tube_spider_maps.jpg)

[60] San francisco spidermap, it’s based on a series of maps that chk america, inc.\* produced for transport for london. [Online]. Available: <http://randomness.dreamwidth.org/-26545.html>

[61] OPT, “Spidermaps - mapas esquemáticos de zona,” May 2012. [Online]. Available: <http://www.opt.pt/produto.asp?codProduto=8>

[62] J.-H. Haunert and L. Sering, “Drawing road networks with focus regions,” *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 17, no. 12, pp. 2555 – 2562, dec. 2011.

[63] M. Agrawala, W. Li, and F. Berthouzoz, “Design principles for visual communication,” *Communications of the ACM*, vol. 54, no. 4, p. 60, 2011.

- [64] S. hee Hong, D. Merrick, and H. A. D. D. Nascimento, "The metro map layout problem," in *In Proc. Graph Drawing 2004*. Springer-Verlag, 2005, pp. 482–491.
- [65] K. Sugiyama and K. Misue, "A simple and unified method for drawing graphs: Magnetic-spring algorithm," in *Graph Drawing*, ser. Lecture Notes in Computer Science, R. Tamassia and I. Tollis, Eds. Springer Berlin / Heidelberg, 1995, vol. 894, pp. 364–375, 10.1007/3-540-58950-3\_391. [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.1007/3-540-58950-3\\_391](http://dx.doi.org/10.1007/3-540-58950-3_391)
- [66] F. Bertault, "A force-directed algorithm that preserves edge crossing properties," in *Graph Drawing*, ser. Lecture Notes in Computer Science, J. Kratochvíl, Ed. Springer Berlin / Heidelberg, 1999, vol. 1731, pp. 351–358, 10.1007/3-540-46648-7\_36. [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.1007/3-540-46648-7\\_36](http://dx.doi.org/10.1007/3-540-46648-7_36)
- [67] S. G. Kobourov, "Spring embedders and force directed graph drawing algorithms," *CoRR*, vol. abs/1201.3011, 2012.
- [68] A. Frick, A. Ludwig, and H. Mehldau, "A fast adaptive layout algorithm for undirected graphs (extended abstract and system demonstration)." Springer-Verlag, 1994, pp. 388–403.
- [69] H. C. Purchase, "Which aesthetic has the greatest effect on human understanding," in *Proceedings of the 5th International Symposium on Graph Drawing*, ser. GD '97. London, UK, UK: Springer-Verlag, 1997, pp. 248–261. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=647549.728779>
- [70] P. Saffrey and H. Purchase, "The "mental map" versus "static aesthetic" compromise in dynamic graphs: a user study," in *Proceedings of the ninth conference on Australasian user interface - Volume 76*, ser. AUIC '08. Darlinghurst, Australia, Australia: Australian Computer Society, Inc., 2008, pp. 85–93. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1378337.1378354>
- [71] K. Boitmanis, U. Brandes, and C. Pich, "Visualizing internet evolution on the autonomous systems level," in *Proceedings of the 15th international conference on Graph drawing*, ser. GD'07. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, pp. 365–376. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1784907.1784945>
- [72] T. Dwyer and Y. Koren, "Dig-cola: Directed graph layout through constrained energy minimization," in *IEEE Symposium on Information Visualization, Infovis, 2005*, pp.

65–72.

[73] T. Dwyer, Y. Koren, and K. Marriott, “Ipsep-cola: An incremental procedure for separation constraint layout of graphs,” in *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALISATION AND COMPUTER GRAPHICS*, 2006, pp. 821–828.

[74] T. Dwyer, K. Marriott, and M. Wybrow, “Topology preserving constrained graph layout,” 2009.

[75] T. Dwyer, “Scalable, versatile and simple constrained graph layout.” *Comput. Graph. Forum*, vol. 28, no. 3, pp. 991–998, 2009. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/cgf/cgf28.html#Dwyer09>

[76] M. v. K. Sergio Cabello, “Automated production of schematic networks\*.” [Online]. Available: <http://www.cs.uu.nl/archive/sw/schematic-map/ck-apsn-draft01.pdf>

[77] C. Gutwenger and P. Mutzel, “Planar polyline drawings with good angular resolution,” in *Graph Drawing (Proc. GD '98)*, volume 1547 of LNCS. Springer-Verlag, 1998, pp. 167–182.

[78] P. A. Eades, “A heuristic for graph drawing.” in *Congressus Numerantium*, vol. 42, 1984, pp. 149–160.

[79] T. M. J. Fruchterman and E. M. Reingold, “Graph drawing by force-directed placement,” *Softw. Pract. Exper.*, vol. 21, no. 11, pp. 1129–1164, Nov. 1991. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/spe.4380211102>

[80] P. Simonetto, D. Auber, and D. Archambault, “Fully automatic visualisation of overlapping sets.” *Comput. Graph. Forum*, vol. 28, no. 3, pp. 967–974, 2009. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/cgf/cgf28.html#SimonettoAA09>

[81] L. Nguyen and M. Barth, “Improving automatic vehicle location efficiency through aperiodic filtering,” in *Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC '06. IEEE*, sept. 2006, pp. 281–286.

[82] J. Biagioni, T. Gerlich, T. Merrifield, and J. Eriksson, “Easytracker: automatic transit tracking, mapping, and arrival time prediction using smartphones,” in *Proceedings of the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, ser. SenSys '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, pp. 68–81. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2070942.2070950>

- [83] J. Biagioni. (2012, Aug) EnglishJames biagioni - publications. University of Illinois at Chicago - Department of Computer Science. [Online]. Available: <http://www.cs.uic.edu/bin/view/Bits/JamesBiagioni>
- [84] J. Eriksson. (2012, Aug) EnglishJakob eriksson - publications. University of Illinois at Chicago - Department of Computer Science. [Online]. Available: <http://www.cs.uic.edu/bin/view/Jakob/Publications>
- [85] i2MApp Innovación en Movilidad S.L. SpanishManual transiteditor. Gestiona tus datos de transporte público y ofrécelos a tus viajeros. [Online]. Available: [http://www.transiteditor.com/vari0s/manual\\_transit\\_editor\\_es.pdf](http://www.transiteditor.com/vari0s/manual_transit_editor_es.pdf)
- [86] W.-H. Lin and R. Bertini, “Modeling schedule recovery processes in transit operations for bus arrival time prediction,” in *Intelligent Transportation Systems, 2002. Proceedings. The IEEE 5th International Conference on*, 2002, pp. 857 – 862.
- [87] T. G. Joao Mourinho and J. F. e Cunha. (2012, Feb) Spider maps for location based services improvement opt presentation ppt file. [Online]. Available: <http://www.slideshare.net/ServicesScience/spider-maps-for-location-based-services-improvement>
- [88] Infopub - automação da produção de informação. [Online]. Available: <http://www.opt.pt/produto.asp?codProduto=4>
- [89] Spidermaps - mapas esquemáticos de zona. [Online]. Available: <http://www.opt.pt/produto.asp?codProduto=8>
- [90] Tecmic.SA. (2012, Jun) Xtran passenger, é um sistema de gestão de frotas de transporte de passageiros produzido pela tecmic sa. [Online]. Available: [http://www.tecmic.pt/por/xtran/passenger\\_intro.html](http://www.tecmic.pt/por/xtran/passenger_intro.html)
- [91] Sharpmap - geospatial application framework for the clr. [Online]. Available: <http://sharpmap.codeplex.com/>
- [92] Nvelocity is a template engine written in c# for .net that is a port of the popular java project velocity. [Online]. Available: <http://www.castleproject.org/monorail/documentation/v20/viewengines/nvelocity/index.html>
- [93] Sap crystal reports. [Online]. Available: <http://crystalreports.com>
- [94] Microsoft, “Microsoft report viewer 2010 - redistributable package includes

controls for viewing reports designed using microsoft reporting technology.” Jun 2012.

[95] A professional ribbon you will use now with orb. by jose manuel menéndez poó. [Online]. Available: <http://www.codeproject.com/Articles/25907/A-Professional-Ribbon-You-Will-Use-Now-with-orb>

[96] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides, *Design patterns: elements of reusable object-oriented software*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995.

[97] Linqtocsv - popular, easy to use library to read and write csv files. CodePlex. [Online]. Available: <http://linqtocsv.codeplex.com/>

[98] J. L. R. M. C. B. J. L. Z. Rui Pedro Julião, Fernanda Nery, “Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal,” no. ISBN: 978-989-96121-4-3, 2009.

[99] A. V. Chapecó. (2012, Set) Auto viação chapecó. [Online]. Available: <http://www.avchap.com.br/>

[100] T. C. H. Profiles. Haversine formula for straight-line distance calculation. [Online]. Available: [http://torontohealthprofiles.ca/a\\_documents/resources/Methods.pdf](http://torontohealthprofiles.ca/a_documents/resources/Methods.pdf)

[101] M. Gombos and B. Zalik, “Point-in-polygon tests for geometric buffers,” *Computers & Geosciences*, vol. 31, no. 10, pp. 1201 – 1212, 2005. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300405000725>

[102] M. Kallay and D. M. Porobic, “EnglishBuffer construction with geodetic circular arcs,” USA Patent 20120050294A1, Mar, 2012. [Online]. Available: <http://www.freepatentsonline.com/y2012/0050294.html>

[103] I. USysWare. Dpack - solution statistics feature allows one to evaluate the size of the entire solution. [Online]. Available: <http://www.usysware.com/dpack/Stats.aspx>

[104] timetablepublisher - oss transit timetable publishing application. [Online]. Available: <http://code.google.com/p/timetablepublisher/>

[105] J. Aquino. (2003, October) Jts topology suite - version 1.4 developer guide. [Online]. Available: <http://www.vividsolutions.com/jts/bin/JTS%20Developer%20Guide.pdf>

- [106] (2009, May) EnglishProj.net - .net spatial reference and projection engine. CodePlex. [Online]. Available: <http://projnet.codeplex.com/>
- [107] (2012, Aug) Dotspatial - a geographic information system library written for .net 4. CodePlex. [Online]. Available: <http://dotspatial.codeplex.com/>
- [108] T. o. d. c. v. Coesa. [Online]. Available: <http://www.coesa.com/index.php>
- [109] MARTA, “Atlanta metropolitan area rapid transit authority (marta),” Feb. 2008. [Online]. Available: <http://www.itsmarta.com/>
- [110] Veolia, “Veolia transport auckland,” Sep. 2007. [Online]. Available: <http://www.connexauckland.com/>
- [111] Metro of Madrid. (2007) Metro de madrid. [Online]. Available: <http://www.metromadrid.es/>
- [112] BART, “San francisco bay area rapid transit,” Sep. 2007. [Online]. Available: <http://www.bart.gov/>
- [113] SL, “Storstockholms lokaltrafik,” Feb. 2008. [Online]. Available: <http://www.sl.se/>
- [114] S. CityRail, “Sydney cityrail,” Sep. 2007. [Online]. Available: <http://www.cityrail.info/>
- [115] WMATA, “Washington metropolitan area transit authority,” Feb. 2008. [Online]. Available: <http://www.wmata.com/metrorail/systemmap.cfm>
- [116] D. Chivers and P. Rodgers, “Gesture-based input for drawing schematics on a mobile device,” in *Proceedings of the 2011 15th International Conference on Information Visualisation*, ser. IV '11. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2011, pp. 127–134. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/IV.2011.50>
- [117] M. Pedersen, “Tuning & simplifying heuristical optimization (phd thesis).” Master’s thesis, University of Southampton, School of Engineering Sciences, Computational Engineering and Design Group., 2010.
- [118] J. Doyle, B. Francis, and A. Tannenbaum, *Feedback control theory*. Macmillan Pub. Co., 1992. [Online]. Available: <http://books.google.com.br/books?id=qf1SAAAAMAAJ>



***Anexo I – Proposta de trabalho contendo os  
respectivos objetivos.***

---

**Coordenação do Mestrado em Engenharia Informática - Computação Móvel (MEI-CM)**

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico de Leiria

Proposta de Estágio de Mestrado Ref. Nº @#PROCESS/@#ano

**EMPRESA PARCEIRA:**

@#ANO

@#USR\_USERNAME

@#FORMCONDLOCALIDADE

**QUADRO A - PROPOSTA DE ESTÁGIO**

TEMA	DynPublic - Informação Pública com Geração Dinâmica - LEIC / MEIC
ÁREA DE ESTUDO	Sistemas Informação
ÁREA DE ACTIVIDADE ECONÓMICA	
OBJECTIVOS	Sistema de Informação para geração de informação pública de forma automatizada e dinâmica.
BREVE DESCRIÇÃO	<p>Uma das tarefas das empresas de transporte publico é disponibilizarem de forma actualizada informação aos passageiros em vários formatos.</p> <p>&gt; Devido às constantes alterações e adaptações das redes de transporte é necessário a constante actualização manual da informação Pública.</p> <p>&gt; O objectivo desta tese é a de conceber uma aplicação para criar informação ao público de forma automática em empresas de transportes públicos, com base na informação dos sistemas aplicativos de gestão de frotas. Pretende-se gerar imagens, ou outros formatos, que permitam automaticamente conceber os posters que são colocados nas paragens com a seguinte informação:</p> <p>&gt; - Horários para as diferentes épocas do ano e dias da semana;</p> <p>&gt; - Intervalos de passagens;</p> <p>&gt; - Carreiras que passam na paragem com diagramas simplificados dos percursos;</p> <p>&gt; - Geração automática de percursos em mapas simplificados e com cores;</p> <p>&gt; - Spider Maps automáticos, baseados em Templates HTML e / ou outros;</p> <p>&gt; - Exportação automática para impressão em Sítios Públicos.</p> <p>&gt; Avaliação de execução de percursos:</p> <p>&gt; - Através de traçados de percurso realizados (<i>tracks</i> com locais e tempos) e comparando com os percursos planeados, verificar a qualidade do percurso realizado vs percurso planeado. Utilização de fontes de dados normalizadas como GTFS, GPX ou GML de modo a ser reutilizável.</p>
COMPETÊNCIAS ESPERADAS	.Net, Design Gráfico, Sistemas multimédia, Trabalho em equipa.
COMPETÊNCIAS OBTIDAS	
DURAÇÃO ESTÁGIO	10 meses

**QUADRO B - TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS NA REALIZAÇÃO DO ESTÁGIO**

SISTEMAS OPERATIVOS	Plataformas Microsoft
FRAMEWORKS	.Net, Web/Image Design, Algoritmos SpiderMaps e SharpMap - Geospatial Application Framework.
METODOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO	Desenvolvimento de projecto baseado em metodologias iterativas ou ágeis dependentes do perfil do candidato.
FERRAMENTAS DE GESTÃO DE PROJECTO	Acompanhamento através de Microsoft Project

OUTROS	

**QUADRO C – PLANO DE TRABALHOS**

PLANO DE TRABALHOS		
ITENS DE ACÇÃO	DATA ÍNICIO	DATA FIM
<b>Levantamento de Requisitos</b>	12/09/11	1/10/2011
Definição de Arquitectura e Templates Gráficos	01/10/2011	10/10/2011
Análise de Estado de Arte e Algoritmos envolvidos	1/10/2011	5/10/2011
Mockups de Interfaces	10/10/2011	20/10/2011
Desenvolvimento de plataforma de geração	20/10/2011	15/5/2012
Análise de Desempenho e Usabilidade	15/2/2012	15/04/2012
Testes e Validações	Ao longo do estágio	
Documentação	Ao longo do estágio	
Ferramentas de Administração/Configuração	1/04/2012	15/04/2012
Relatório Final	01/06/2012	11/07/2012

**QUADRO D – LOCAL DE TRABALHO**

LOCALIDADE	Porto Salvo
SÃO ESPERADAS DESLOCAÇÕES A CLIENTES/FORMAÇÃO NAS SEGUINTES LOCALIDADES	
SÃO ESPERADOS PERÍODOS DE DESLOCAÇÕES DE (DIAS/SEMANAS/MESES)	

**QUADRO E – RECURSOS ALOCADOS AO ESTAGIÁRIO**

COMPUTADOR DE MESA	Sim
COMPUTADOR PORTÁTIL	
INTERNET	Sim
OUTROS	
<b>RECURSOS ACESSÍVEIS AO ESTAGIÁRIO NO LOCAL DE TRABALHO</b>	
BAR	
REFEITÓRIO	
MÁQUINA DE CAFÉ	Sim
OUTROS	

**QUADRO F – CONDIÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DO ESTÁGIO**

TEMPO CONCEDIDO AO ESTAGIÁRIO PARA	
ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO (HORAS/SEMANA)	
CONTACTO COM O ORIENTADOR NO IPLEIRIA (HORAS/SEMANA)	

**QUADRO G – FORMAÇÃO INTEGRADA**

ESTÁGIO CONTEMPLA FORMAÇÃO NA EMPRESA (HORAS/DIAS)	20 horas	
ESTÁGIO CONTEMPLA FORMAÇÃO EXTERIOR À EMPRESA (HORAS/DIAS)		

**QUADRO H – CONDIÇÕES MATERIAIS**

ESTÁGIO REMUNERADO (VALOR MENSAL)		
APOIOS PARA DESLOCAÇÕES RESIDÊNCIA-TRABALHO		
SUBSÍDIO DE ALIMENTAÇÃO		
SEGUROS (ACIDENTES PESSOAIS, SAÚDE, ETC)		
OUTROS		

**QUADRO I – ORIENTADOR NA EMPRESA**

NOME EMPRESA	TECMIC SA
MORADA POSTAL	Taguspark - Edifício Ciência II, Av. Prof. Dr. Cavaco Silva, nº13, 3A , 2740-120 Porto Salvo
NOME ORIENTADOR	António Brandão Leal
MÓVEL ORIENTADOR	969441308
EMAIL ORIENTADOR	<a href="mailto:Antonio.Leal@tecmic.pt">Antonio.Leal@tecmic.pt</a>

**QUADRO J – EMPRESA**

EXISTE A POSSIBILIDADE DE PERMANECER NA ORGANIZAÇÃO NO FINAL DO ESTÁGIO	Sim
---	-----

[TEMPO ATRIBUÍDO] [TÓPICO DA AGENDA] [APRESENTADOR]

DEBATES

CONCLUSÕES

## **Anexo II – Actividades realizadas ao longo do projecto DynPublic.**

<b>Actividade/ Descrição</b>	<b>Resultado</b>
Instalação de <i>Software</i> no posto de trabalho da empresa.	Criação de ambiente de desenvolvimento.
Integração com a equipa de desenvolvimento.	Ficar a conhecer os principais projectos, produtos e o seu modo de funcionamento.
Revisão da Literatura: -Mapas e esquemas de redes rodoviárias e transporte público de passageiros; -Informação ao público sob a forma de horários; -Algoritmos envolvidos na geração de horários, mapas e cálculo de desvio de rotas; -Análise das soluções alternativas existentes no mercado, como da OPT; - Estudo dos formatos de integração HTML, XML, XSLT, GTFS, GPX e GML; -Leitura de literatura científica sobre criação de mapas e esquemas rodoviários.	Suportar e justificar as decisões tomadas com base na comunidade científica e outros trabalhos da área. Escolha dos formatos a utilizar. Os formatos escolhidos têm que satisfazer os requisitos definidos no que toca à representação da informação de horários, esquemas da rede e rotas.
Exploração do modelo de domínio e de negócio do XTraN Passenger.	Conhecer o modelo para por exemplo obtenção de informação sobre os itinerários, tempos de percurso e informação adicional para posterior criação dos horários e esquemas da rede.
Análise dos componentes gráficos utilizados pela equipa de desenvolvimento.	Contextualização com o que já existe e foi aplicado na aplicação XTraN Passenger, de modo a determinar as restrições ao desenvolvimento.
Recolha de Requisitos.	Especificação das funcionalidades a implementar.
Exploração do componente SharpMap e implementação de funcionalidades de desenho.	Conhecer o funcionamento do componente.
Prototipagem de interfaces e definição de arquitectura e <i>templates</i> gráficos para os horários.	Preparação para a implementação.

Desenvolvimento da plataforma de geração de horários.	Aplicação que cumpre os requisitos e que produz como resultado horários.
Criação de um <i>endpoint</i> XML.	Permitir integração com outras aplicações.
Análise de motores de geração de relatórios como a Microsoft Report Viewer e Crystal Reports.	Escolha do Report Viewer para a realização dos horários.
Criação de horários de paragem a partir dos dados existentes.	Prova de conceito, incluindo pelo menos os formatos HTML e PDF.
Análise de motores de “renderização” como o NVelocity para a criação do <i>template</i> HTML.	Escolha do NVelocity como motor de geração dos horários em HTML.
Pesquisa e comparação de <i>software de geographic information systems</i> (GIS) incluindo <i>Map Servers, Map Caches, Software Development Frameworks e Libraries, Client Applications</i> , outros.	Saber como funciona o sistema de GIS desde o servidor de mapas ao cliente.
Análise de Ferramentas de geração de grafos.	Estudar as alternativas existentes para a geração dos mapas esquemáticos.
Desenvolvimento de uma aplicação de prova de conceito para a geração de esquemas da rede de transporte, desenvolvimento de um algoritmo para tal.	Algoritmo de desenho do mapa esquemático com três modos de funcionamento, linear, com base nos ângulos do itinerário e com base no número de ligações em cada nó.
Estudo e implementação dos formatos disponíveis para representação de informação de horários e rotas.	Escolha dos formatos GTFS e GPX para formato de importação e ou exportação de dados para a aplicação. Implementação dos formatos.
Análise de soluções existentes actualmente para geração de grafos e outros esquemas.	Tomar decisões relativamente à forma de implementar o desenho dos mapas esquemáticos.
Desenvolvimento de algoritmo de organização das carreiras no mapa esquemático. Testes ao algoritmo, afinação e parametrização.	Obtenção de um resultado que satisfaça os requisitos.
Desenvolvimento de uma aplicação de teste de conceito para a geração de horários na paragem em HTML, Doc, PDF, entre outros.	Obtenção de um protótipo funcional onde devem ser incorporados todos os conhecimentos adquiridos nas aplicações de teste.
Desenvolvimento de uma aplicação de teste de conceito para a geração de esquemas da rede de transporte.	
Integração da geração de horários com a geração de mapas esquemáticos.	Tornar o processo uniforme e modular para facilitar a criação dos dados intermédios e os ficheiros de projecto.
Implementação de um algoritmo para auxiliar o desenho de um tipo de mapa esquemático intitulado SpiderMaps.	Obtenção de um SpiderMap.

Análise de desempenho e usabilidade.	Validar a qualidade da aplicação.
Avaliação de execução de percursos através de traçados de percurso realizados e comparando com os percursos planeados, verificar a qualidade do percurso realizado.	Detectar desvios de rota ao nível da distância e tempo.
Desenvolvimento de ferramentas de administração e configuração.	Tornar a aplicação parametrizável.
Testes e validações.	Detectar problemas e melhoramentos que possam ser feitos no módulo produzido.
Documentação.	Documentação técnica sobre o projecto, bem como compilação da informação recolhida e criada ao longo da dissertação.







## ***Anexo IV – Protótipos da aplicação DynPublic.***

---

Em seguida serão dados a conhecer os principais protótipos de ecrãs da aplicação. Os seguintes protótipos revelaram-se bastante importantes para o arranque da fase de implementação.

### **1. Protótipo inicial da aplicação**

Na Figura 1 está presente o primeiro protótipo do ecrã onde é possível criar os horários das paragens, para o qual estão definidos os seguintes requisitos:

- Parametrizar com base na época do ano e tipo de dia;
- Definir o intervalo de horas que queremos apresentar;
- Guardar o projecto para mais tarde alterar;
- Permitir criar horários para todas as paragens de uma carreira ou para todas as carreiras que passam numa determinada paragem.

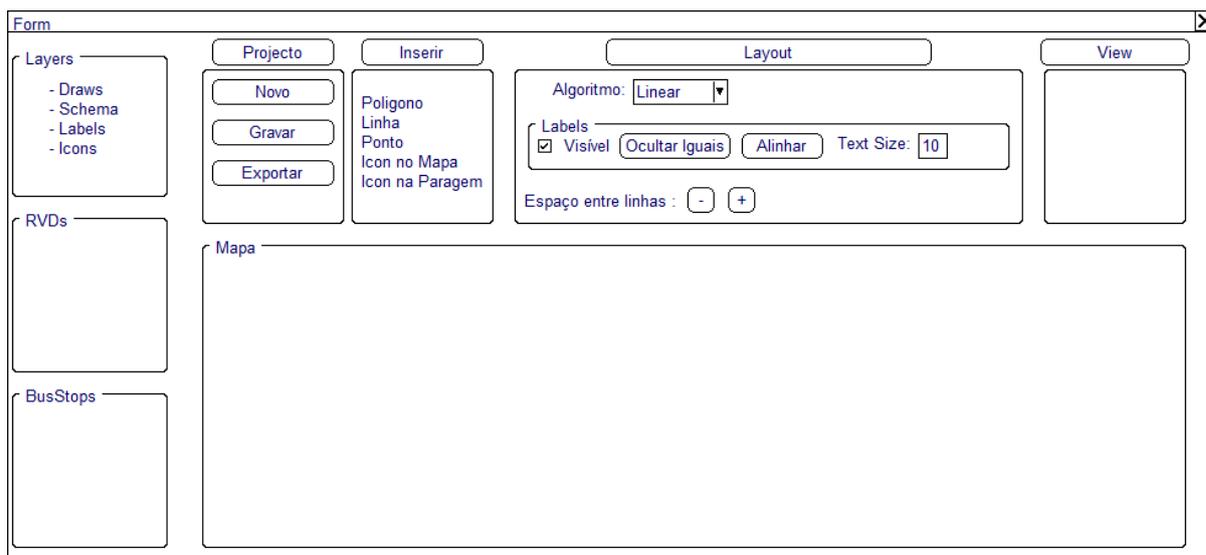
**Figura 1 - Protótipo do ecrã de criação dos horários.**

O protótipo presente na Figura 1 contém o ecrã de criação de horários que se divide em 3 partes principais:

1. A parte superior, imutável, onde se gere o projecto actualmente aberto / criado e se adiciona a ele horários ou mapas esquemáticos;
2. Na parte lateral esquerda está presente uma estrutura em árvore para representar a informação presente no projecto, esta é organizada em horários e localização (que se refere aos mapas);
3. Na parte central encontra-se o formulário responsável pela parametrização dos horários.

Na Figura 2 está presente o primeiro protótipo do ecrã onde é possível criar os mapas esquemáticos na paragem, tendo este ecrã os seguintes requisitos:

- Gerar automaticamente o esquema com base numa parametrização;
- Permitir ajustar manualmente o esquema através de um editor gráfico;
- Permitir a adição de legendas e imagens ao esquema;
- Guardar o esquema de modo a poder ser editado posteriormente;
- Escolher quais as paragens a aparecer no esquema.



**Figura 2 - Protótipo do ecrã de criação dos mapas esquemáticos.**

O protótipo presente na Figura 2 contém o ecrã de criação de mapas esquemáticos que se divide em 3 partes principais:

1. Na parte superior encontram-se as funcionalidades para gerir o projecto, assim como um conjunto de funcionalidades que permitem personalizar e editar o resultado produzido.
2. Na parte lateral esquerda estão funcionalidades de selecção, permitindo seleccionar as *layers*, as paragens e as carreiras a aparecer no esquema.
3. Na zona do mapa será desenhado o esquema com base nos parâmetros escolhidos nas restantes partes do ecrã, sendo editável manualmente.

## **2. Protótipo do esquema horário.**

A Figura 3 é um esquema representativo da organização e formato da informação que se pretende que esteja nos esquemas horários.

O esquema divide-se em duas partes principais:

1. A primeira está localizada na parte superior e contém a identificação da carreira e a espinha com a lista de paragens sequenciadas;
2. A segunda está localizada na parte inferior e contém a informação horária organizada por época do ano e tipo de dia.

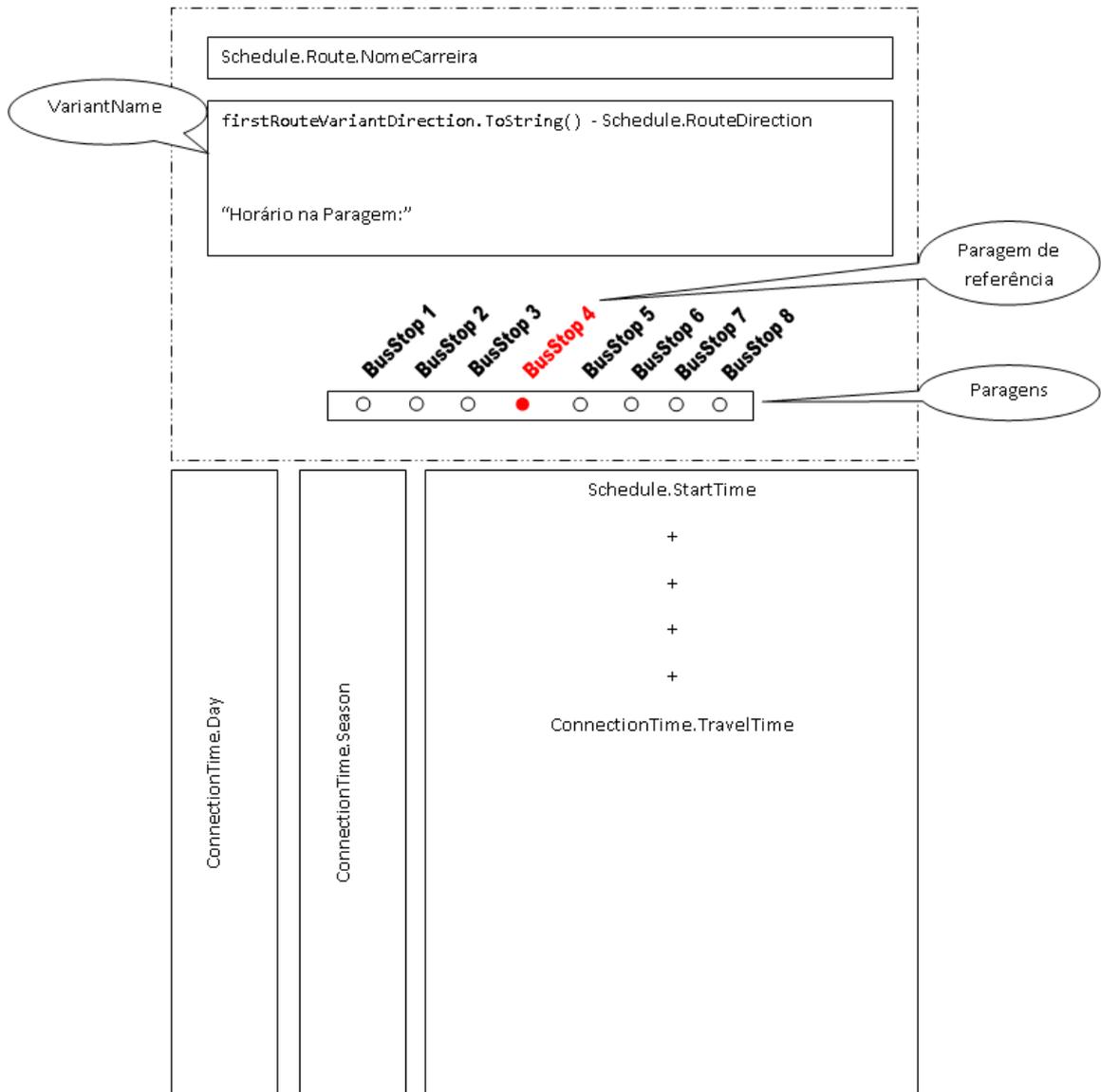


Figura 3 - Protótipo do esquema horário.

## **Anexo V – Exemplos de documentos produzidos pelo DynPublic.**

As Figura 4 e Figura 5 são uma captura de ecrã da aplicação no passo de parametrização dos horários. Neste ecrã é possível escolher quais as paragens que aparecem no esquema em espinha da carreira, escolher os tipos de dia e as épocas a aparecer e definir a forma como o horário é mostrado, podendo ser ao minuto, intervalo ou automático.

The screenshot displays the 'Parametrização' window in the DynPublic application. The interface includes a top toolbar with icons for 'Criar', 'Abrir', 'Guardar', 'Fechar', 'Gerar Dados Inter', 'Gerar Horário', 'Gerar Relatório', 'Gerar GTFS', 'Editar Parametrização', 'Editar Parametrização', 'Gerar Mapa', 'Ajustar', 'Globais', and 'Calcular Desvio de GPX'. The main area is titled 'Parametrização' and contains three primary sections:

- Horários:** A tree view on the left showing a hierarchy of routes, including '16-Bela Vista Desc', 'M155', 'SENAC', 'CAIXA DE AGUA', 'MALHARIA ZAUZA', '23-Saque Sada Desc', '23', '301', 'M451', and 'PORTAO CENTRAL'.
- Seleção das Paragens da Carreira Variante Sentido:** A table listing stops with the following columns: Número, Nome, Iniciais, Abreviatura, Tipo Descrição, and Visível.
 

Número	Nome	Iniciais	Abreviatura	Tipo Descrição	Visível
22	AURORA CENTRO	22	22	Paragem	<input checked="" type="checkbox"/>
M152	MALHARIA ZAUZA	MZ	MALHARIA ZA...	Paragem	<input checked="" type="checkbox"/>
M153	CAIXA DE AGUA	CXA	CX AGUA	Paragem	<input checked="" type="checkbox"/>
M154	SENAC	SEN	SENAC	Paragem	<input checked="" type="checkbox"/>
M155	M155	M155	M155	Paragem	<input checked="" type="checkbox"/>
M197	M197	M197	M197	Paragem	<input checked="" type="checkbox"/>
M198	M198	M198	M198	Paragem	<input checked="" type="checkbox"/>
M199	M199	M199	M199	Paragem	<input checked="" type="checkbox"/>
- Personalizar Horários da Época Dia Tipo:** A section with three sub-tables:
  - Dias-Tipo:**

Nome	Descrição	Visível
Útil		<input checked="" type="checkbox"/>
Sábado		<input checked="" type="checkbox"/>
Domingo/Feriado		<input checked="" type="checkbox"/>
Feriado Especial		<input checked="" type="checkbox"/>
  - Épocas:**

Nome	Descrição	Visível
Escola		<input checked="" type="checkbox"/>
Não Escolar		<input checked="" type="checkbox"/>
  - Horários:**

Hora	Tipo de Vista	Visível
0	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
1	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Interval	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Hour	<input checked="" type="checkbox"/>

**Figura 4 - Horários por Carreira**

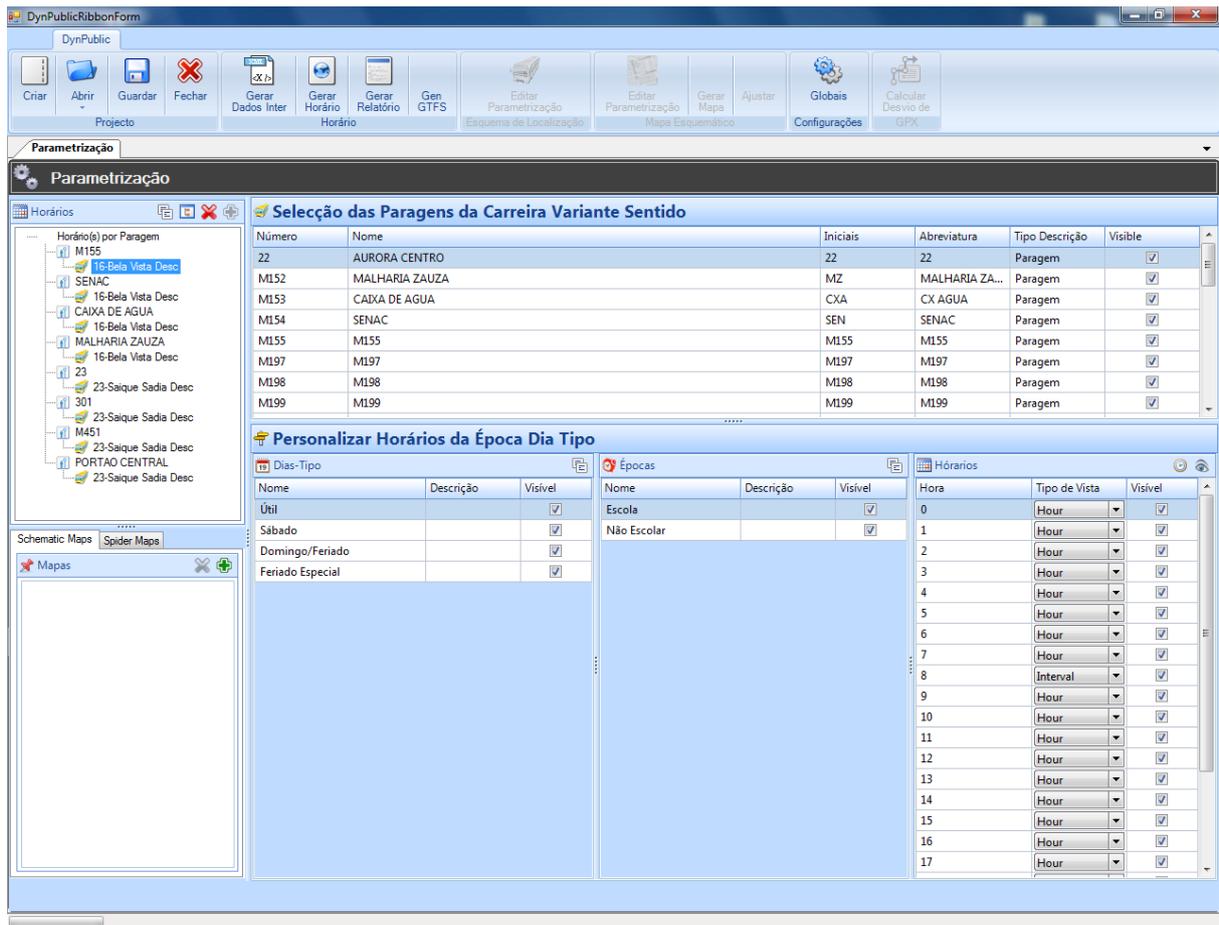


Figura 5 - Parametrização de horários.

As Figura 6 e Figura 7 são uma captura de ecrã da aplicação com o componente gráfico *Microsoft Report Viewer* utilizado para gerar o horário para a parametrização definida nesse mesmo ecrã.

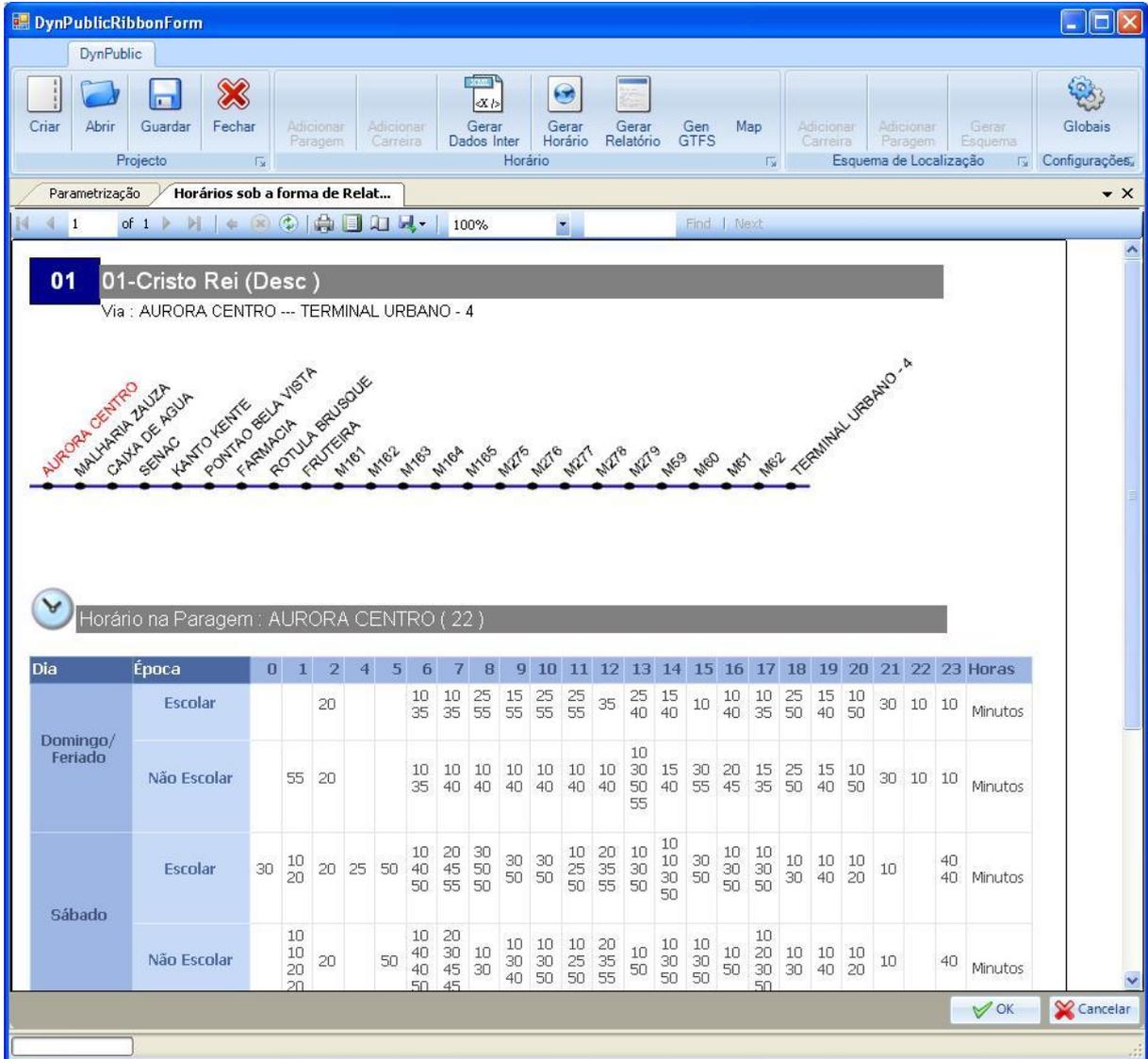


Figura 6 - Horário no componente Report Viewer.





A Figura 9 é uma captura de ecrã da aplicação no passo de criação e edição dos mapas esquemáticos. Neste ecrã é possível seleccionar quais as carreiras e as paragens a aparecer no esquema e também editar o resultado com um conjunto de ferramentas que são disponibilizadas através de um painel flutuante adicional.

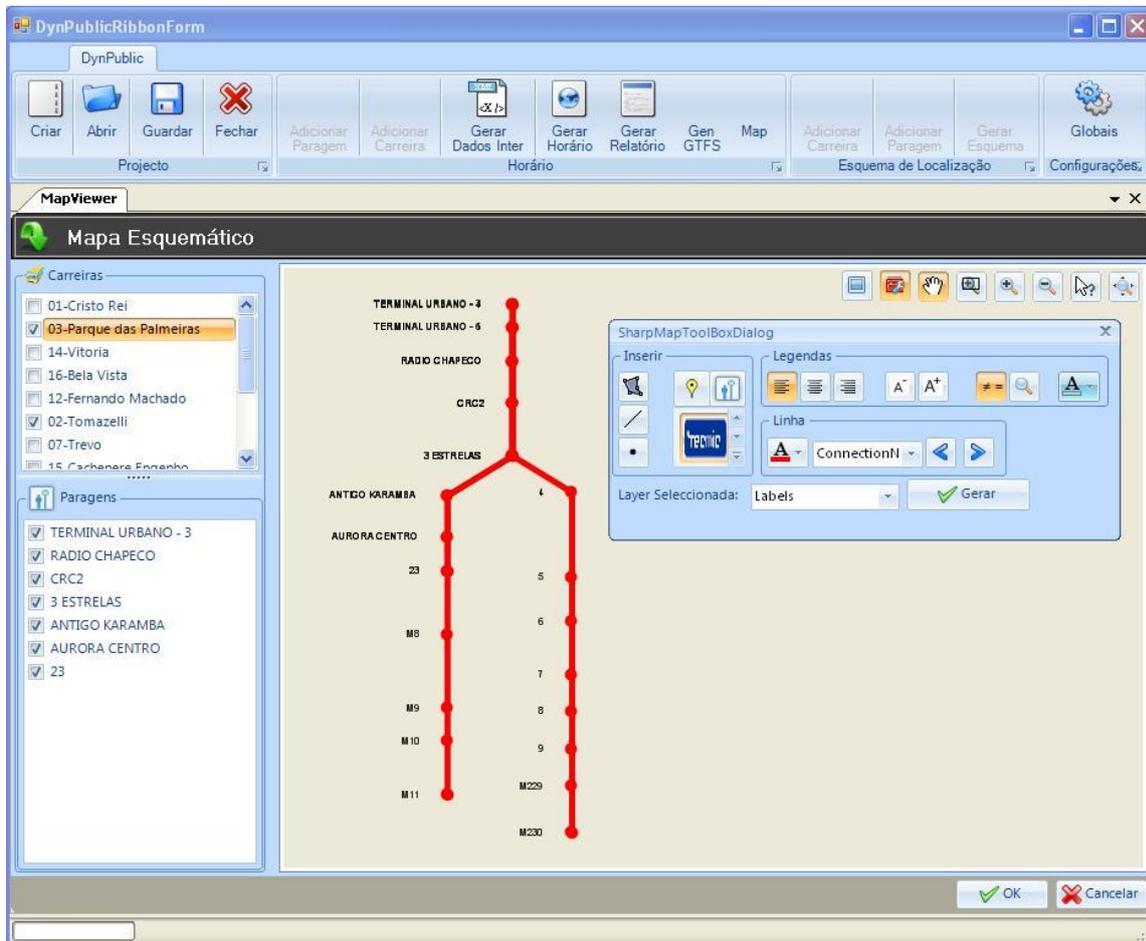


Figura 9 - Criação mapa esquemático.

## Anexo VI – Diagramas de Domínio.

Os esquemas presentes neste anexo podem não corresponder na totalidade à realidade actual uma vez que foram realizados nos primórdios da fase de análise e início da implementação.

### 1. Domínio do XTraN Passenger

É extremamente importante compreender a forma como a informação está armazenada para que possa ser extraída e manipulada sem perder a sua organização lógica.

Na Figura 10 está presente o diagrama de domínio do XTraN Passenger que guarda a informação representativa da carreira e dos tempos de conexão, isto é, o tempo que a carreira demora a ir de uma paragem à outra tendo em conta a época e tipo de dia.

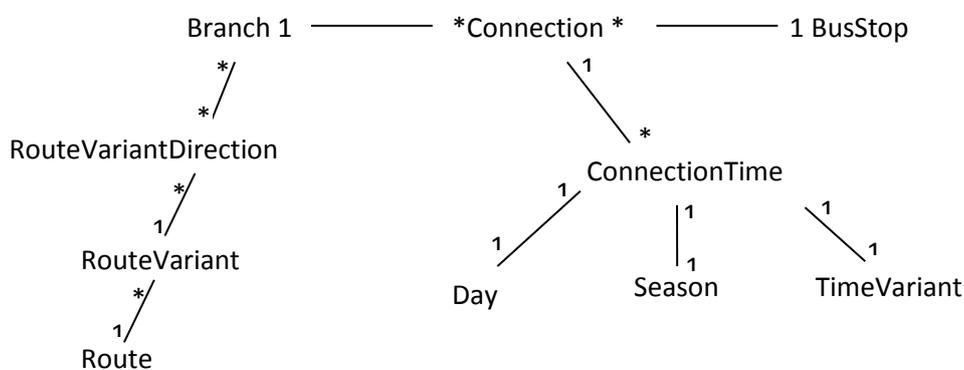


Figura 10 - DER Carreiras e Tempos.

Na Figura 11 está presente o diagrama de domínio do XTraN Passenger que guarda a informação relativa aos horários, isto é, a hora de partida da carreira para cada combinação de época e tipo de dia.

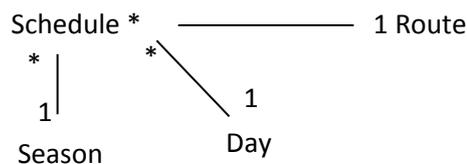


Figura 11 - DER Horários.

A informação presente na BD do XTraN Passenger, organizada desta forma, permite a criação de horários e esquemas de representação da rede de transportes.

**2. DER representativo da informação utilizada para parametrizar a criação de Calendários.**

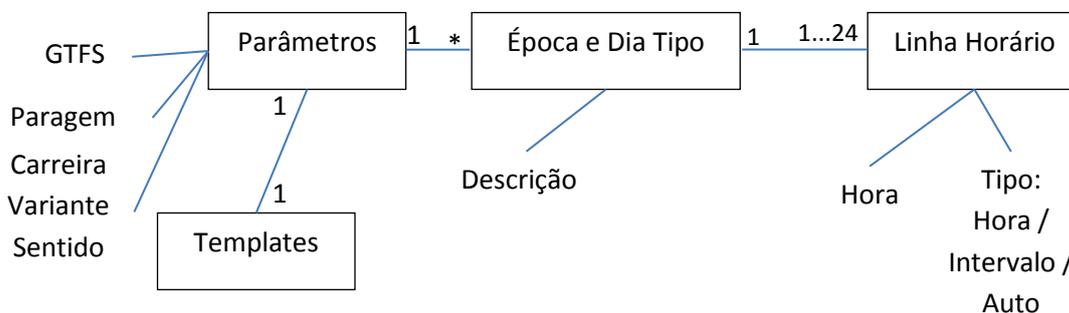


Figura 12 - Esquema de fontes de Informação.

A Figura 12 representa a forma como a informação que faz parte da parametrização dos calendários é armazenada.

**3. DER representativo da Informação Intermédia dos Horários.**

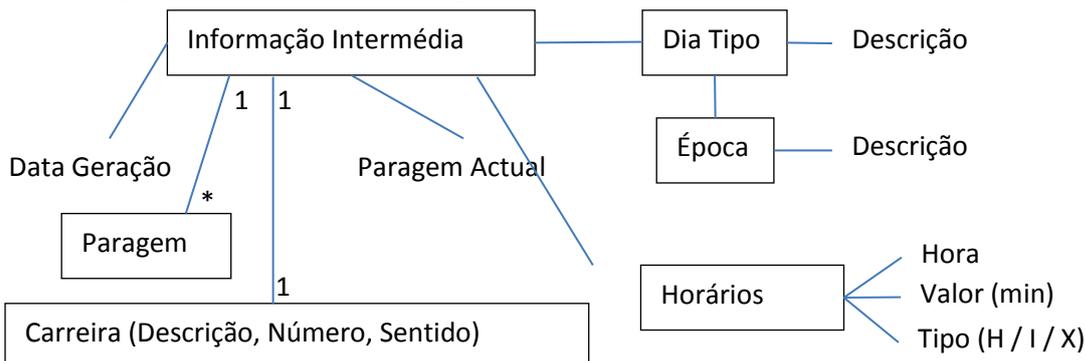


Figura 13 - Informação relativa aos horários.

O esquema presente na Figura 13 representa de forma muito simplificada a informação intermédia que representa os horários.

## **Anexo VII – Resultados dos testes realizados ao algoritmo force-directed.**

---

Em seguida estão presentes os resultados produzidos pelo algoritmo *force-directed* com vista à produção de SpiderMaps. De notar que a classificação dada a cada esquema representa uma nota negativa, isto é, valor inferior significa um melhor resultado.

Em seguida são apresentados os resultados organizados pelos vários dados de teste.

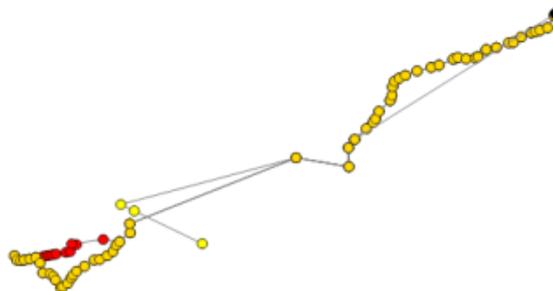
### **1. Passenger Coesa.**

Estes dados provem de um cliente Tecmic.SA do Rio de Janeiro-Brasil, a COESA.

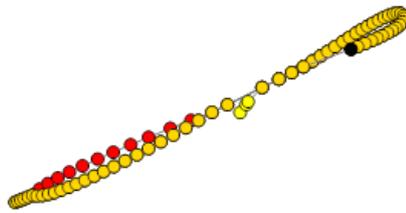
#### **1.1. Passenger Coesa - 1054**

A rede original tem uma característica que afecta os resultados produzidos, isto acontece devido à existência de duas carreiras onde uma delas faz a ligação directa entre duas paragens e a outra tem ainda paragens intermédias.

As carreiras presentes no esquema passam na paragem de referência com o código 1054.

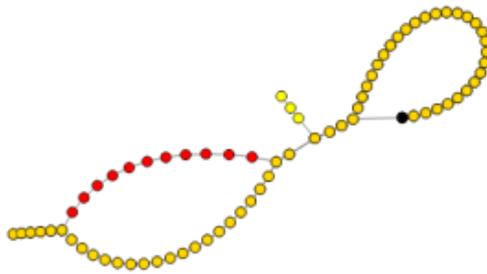


**Figura 14 - Representação geográfica da rede 1054.**



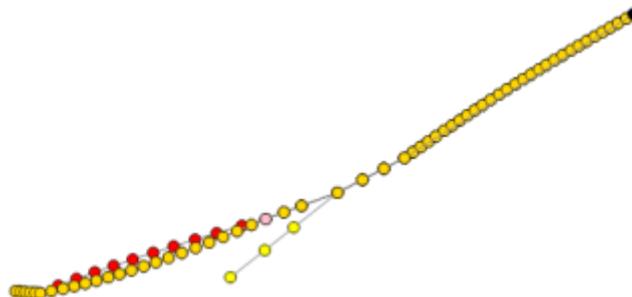
**Figura 15 - Parametrização Standard.**

Classificação: 38595896,8462873



**Figura 16 - Parametrização Repulsive.**

Classificação: 27262453,1699728



**Figura 17 - Parametrização FixNodes.**

Classificação: 13085992,0547891

## **2. Passenger AVC**

### **1.2. Passenger AVC 72**

As carreiras presentes no esquema passam na paragem de referência com o código 72.

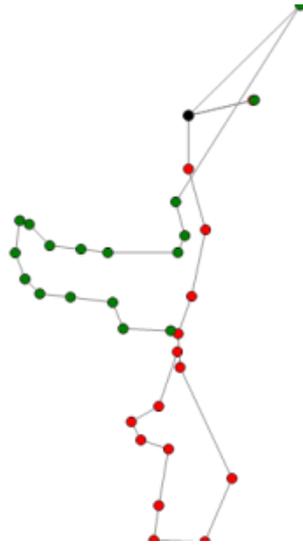


Figura 18 - Representação geográfica da rede 72.

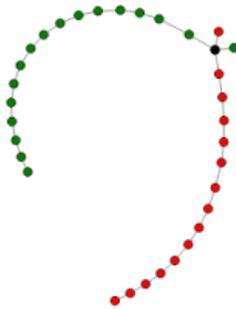


Figura 19 - Parametrização Standard.

Classificação: 1013942,52158457

### 1.3. Passenger AVC – 157

As carreiras presentes no esquema passam na paragem de referência com o código 157.

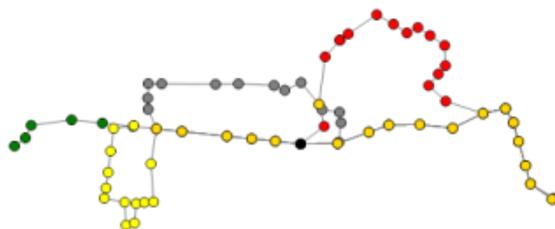


Figura 20 - Representação geográfica da rede 157.

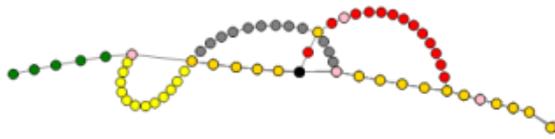


Figura 21 - Parametrização FixNodes.

Classificação: 2649823,40576078

#### 1.4. Passenger AVC - 321

As carreiras presentes no esquema passam na paragem de referência com o código 321.

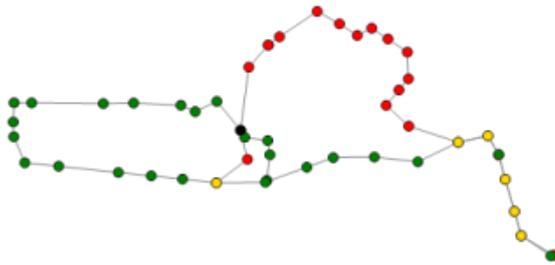


Figura 22 - Representação geográfica da rede 321.

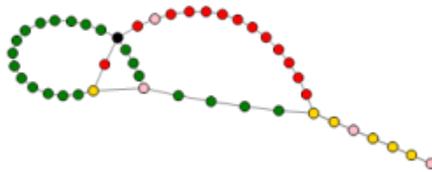


Figura 23 - Parametrização Fix nodes.

Classificação: 321 1708259,87907985

#### 1.5. Passenger AVC - 398

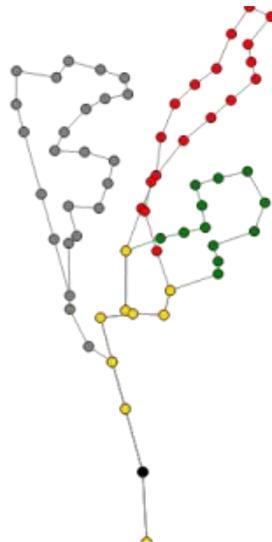


Figura 24 - Representação geográfica da rede 398.

As carreiras presentes no esquema passam na paragem de referência com o código 398.

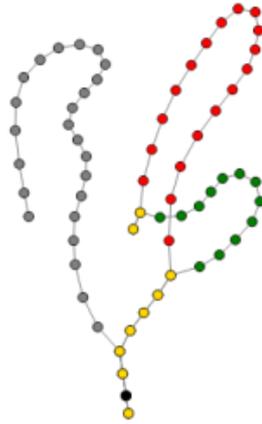


Figura 25 – Parametrização: PushOriginal.

Classificação 398 872025,660003104

### 1.6. Passenger AVC – 440

As carreiras presentes no esquema passam na paragem de referência com o código 440.

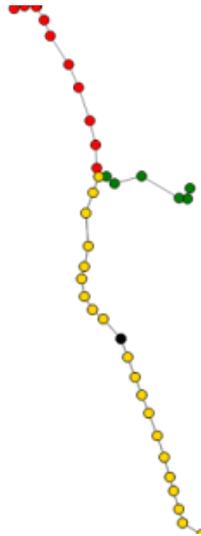


Figura 26 - Representação geográfica da rede 440.

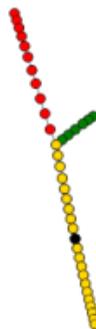


Figura 27 - Parametrização Standard.

Classificação: 3921128,65721713

### 1.7. Passenger AVC – 591

As carreiras presentes no esquema passam na paragem de referência com o código 591.

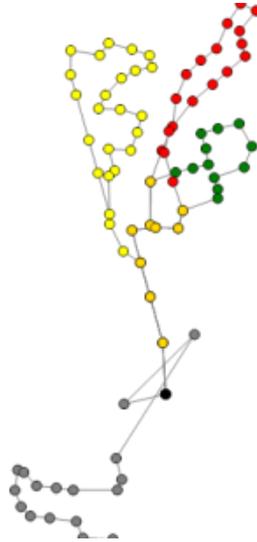


Figura 28 - Representação geográfica da rede 591.

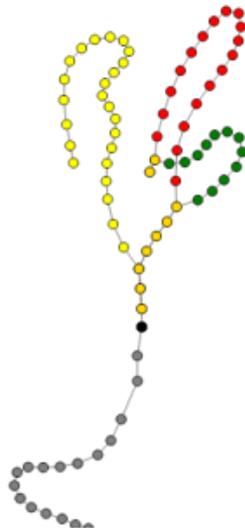


Figura 29 – Parametrização: PushOriginal.

Classificação: 1072612,45650759

### 3. Dados de testes do Jonathan Stott

Os seguintes resultados foram produzidos através da utilização dos *datasets* de Jonathan Stott disponibilizados na sua tese.

## 1.8. Atlanta

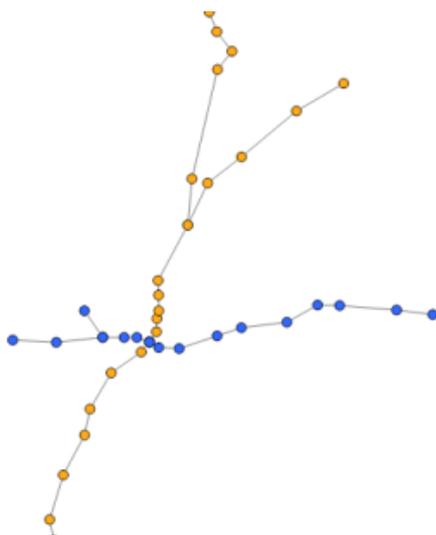


Figura 30 - Representação geográfica da rede do metro de Atlanta.

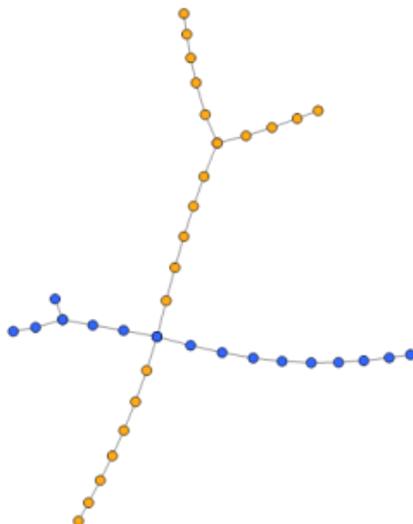


Figura 31 - Diagrama gerado com as restrições por omissão.

Classificação: 560240,848484809

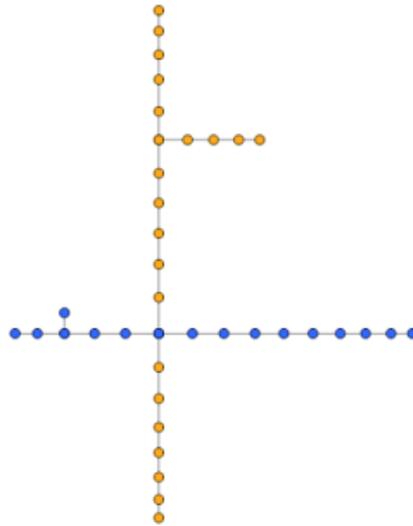


Figura 32 - Diagrama gerado com a restrição que puxa o mapa para linhas rectas.

Classificação: 602240,495671818

### 1.9. Auckland

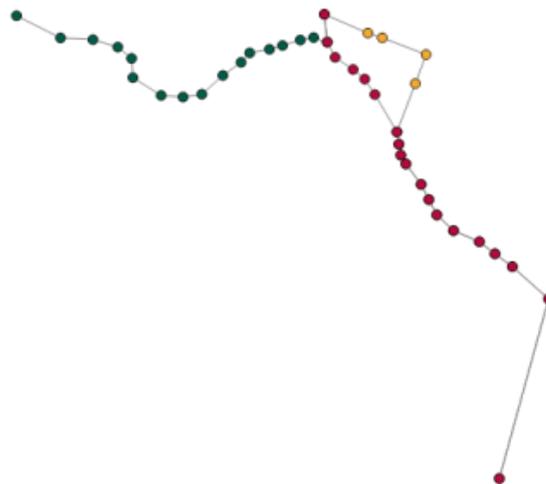


Figura 33 - Representação geográfica da rede de metro de Auckland.

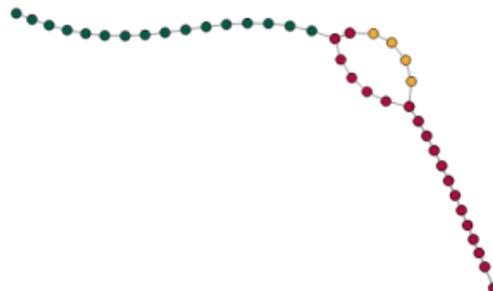


Figura 34 - Parametrização: Standard.

Classificação: 744972,714379691

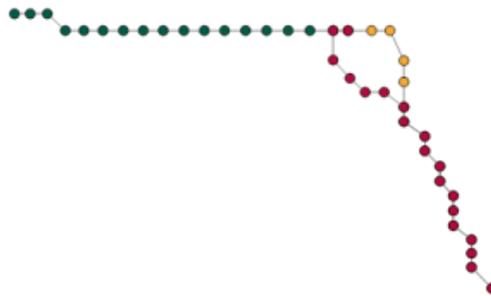


Figura 35 - Parametrização: PushToOrthogonal.

Classificação: 740342,651752124

### 1.10. Madrid

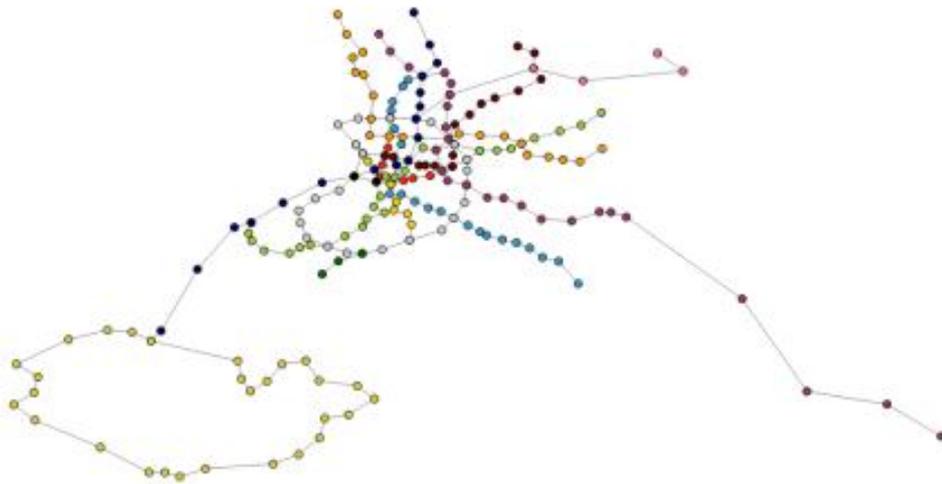
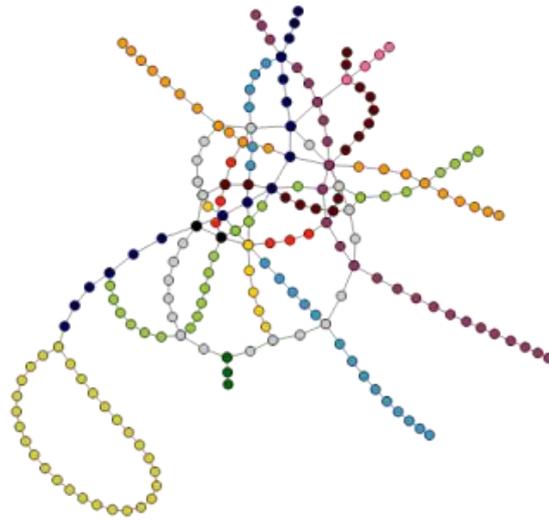
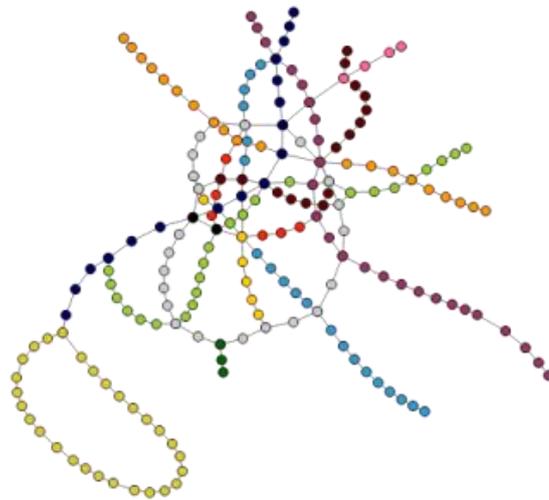


Figura 36 - Representação geográfica da rede do metro de Madrid.



**Figura 37 - Diagrama gerado com as restrições por omissão.**

Classificação: 11868789,9289614



**Figura 38 - Diagrama gerado com a principal restrição de manter no mínimo 0.5 da distância original.**

Classificação: 12433869,1438644

## 1.11. San Francisco

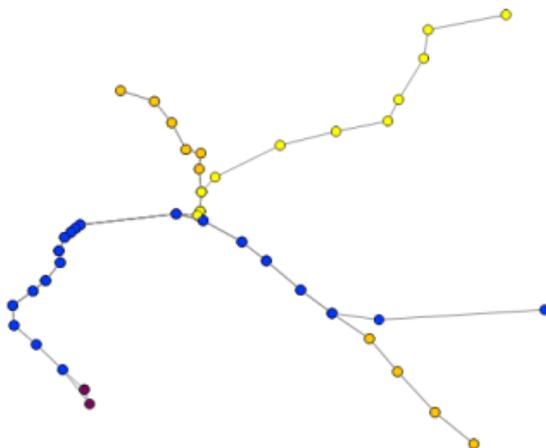


Figura 39 - Representação geográfica da rede de metro de San Francisco.

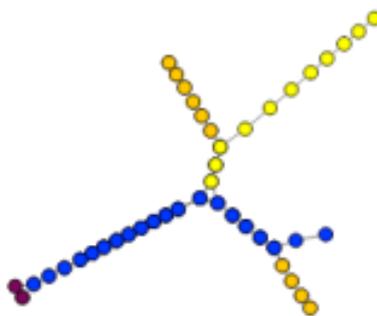


Figura 40 - Parametrização: Standard.

Classificação: 4899178,2126478

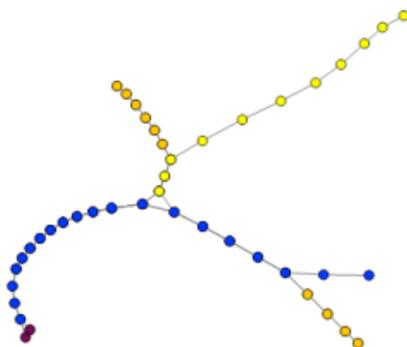


Figura 41 - Parametrização: PushOriginal.

Classificação: 1809491,00503632

## 1.12. Stockholm

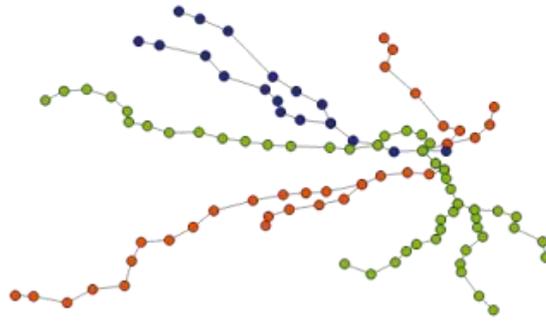


Figura 42 - Representação geográfica da rede de metro de Stockholm.

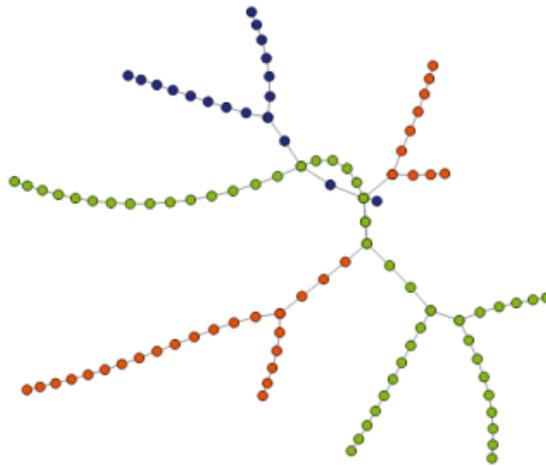


Figura 43 - Parametrização: Standard.

Classificação: 4149598,82554334

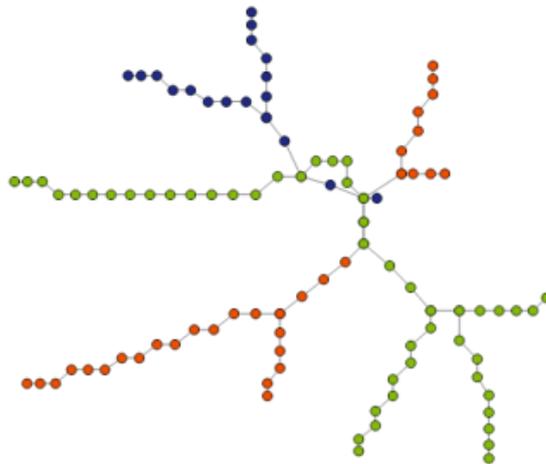


Figura 44 - Parametrização: PushToOrthogonal.

Classificação: 4047766,95851307

### 1.13. Sydney

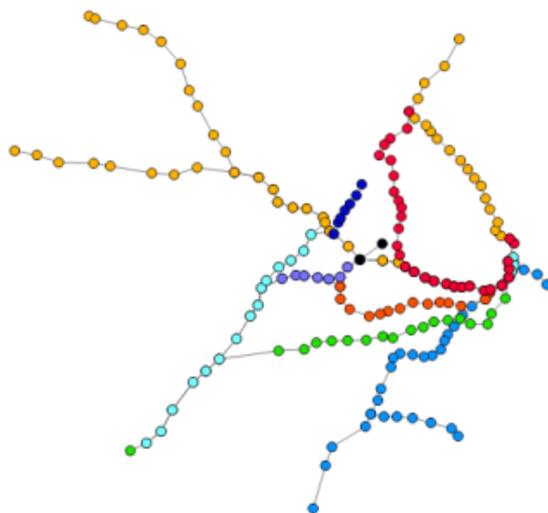


Figura 45 - Representação geográfica da rede de metro de Sydney.

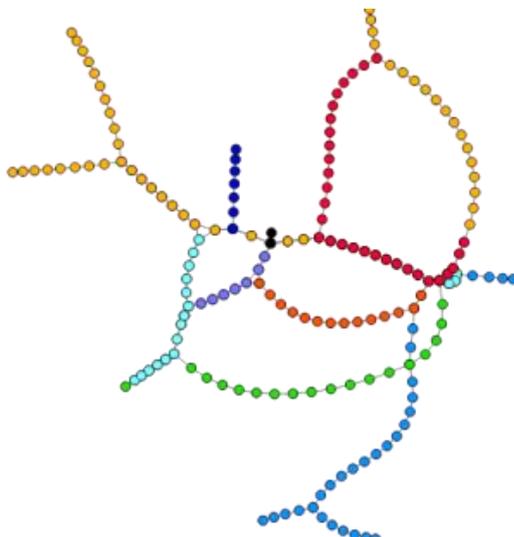


Figura 46 - Parametrização: Standard.

Classificação: 7944178,68667218

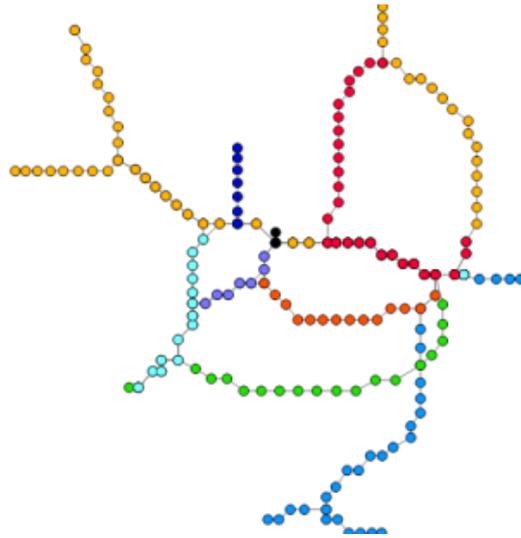


Figura 47 - Parametrização: PushToOrthogonal.

Classificação: 7986518,38429158

#### 1.14. Washington

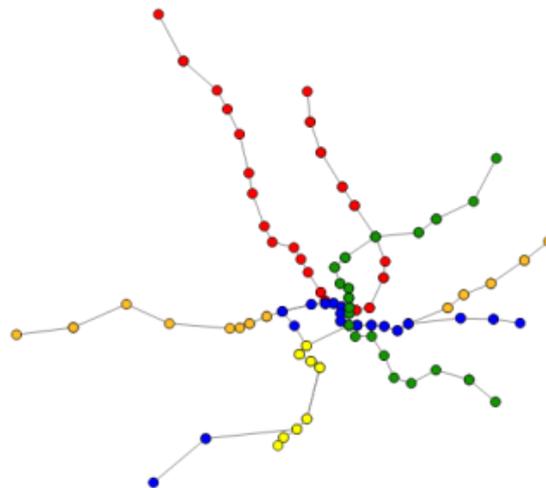
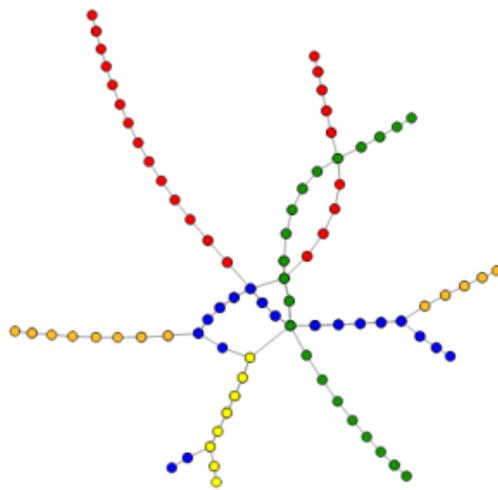
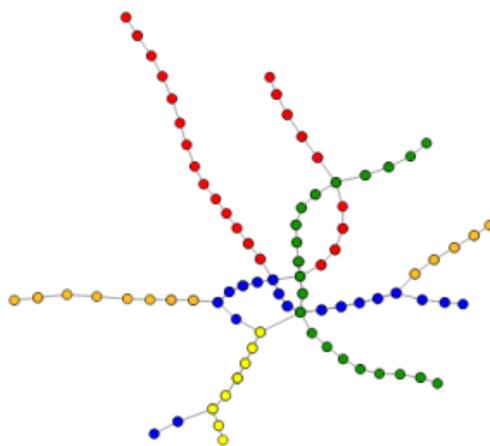


Figura 48 - Representação geográfica da rede de metro de Washington.



**Figura 49 - Parametrização: Standard.**

Classificação: 3363932,59746466



**Figura 50 - Parametrização: PushOriginal.**

Classificação: 1631667,65560036



## **Anexo VIII – Caso de estudo - Metro de Madrid.**

### **1. Caso de estudo sobre o mapa de Madrid**

No início de 2007, a Comunidade de Madrid anunciou uma mudança no desenho do mapa do Metro, esta alteração deve-se ao crescimento da rede que passou a ser a terceira maior rede metropolitana depois de Nova Iorque e Moscovo. O novo formato foi desenhado por Rafael Sañudo do estúdio Rare. A última versão do mapa da rede de metro de Madrid data de Abril de 2012, tendo ocorrido alguma discussão desde o anúncio da alteração do mapa em inícios de 2007. Em seguida estão presentes dois fragmentos do mapa do metro de Madrid, por forma a serem facilmente comparáveis [1].



Figura 51 - Fragmento do antigo mapa de metro de Madrid construído por Juan de la Mata.



Figura 52 - Fragmento do novo mapa de metro de Madrid construído por Rafael Sañudo.

Ao comparar os dois mapas conseguimos reparar em algumas diferenças notórias:

- Foram eliminadas as linhas a 45° do anterior para incrementar a horizontalidade e para dar mais espaço ao texto;
- Os nomes das estações de intercâmbio estão em letra maiúscula e as restantes com maiúscula. Ganha-se legibilidade e facilidade de localização das principais referências.
- Foi incluído o rio Manzanares, como no mapa do metro de Londres desenhado por Harry Beck em 1931. Este aspecto contrasta com o plano menos geográfico e mais abstracto que o anterior.
- A estação do Sol foi destacada, por ser indiscutivelmente uma referência no centro de Madrid.
- O novo mapa é mais agressivo visualmente por ter cantos em bico.
- A tipografia das estações é demasiado discreta para quando tencionamos procurar por uma estação, não sabemos por onde começar e isto traz problemas para os viajantes ocasionais, como os turistas.
- Existe uma distorção da realidade, pelo que não existe escala. Perde-se um pouco a noção devido à falta de referências mas melhora-se a legibilidade. Uma vantagem ao sacrificar a escala topográfica é a possibilidade de ter a informação das zonas densas mais legível. A versão nova acomoda muito melhor o texto, não restando

dúvidas para os locais a que estão associadas as legendas.

- A suavização da cor no novo mapa cria problemas aos daltónicos.

A associação dos amigos do metro de Madrid chamada Andén 1, criticou desde o início a decisão de substituição do mapa do metro, tanto pelas suas falhas, como pela falta de necessidade de alterar o esquema original. Segundo a associação, o novo mapa é mais confuso e ilegível pela falta de referência geográfica e considera que a remoção das linhas diagonais dificulta a interpretação [2].

Problemas identificados pela associação: [3]

- Consideram que nem a tipografia nem a forma de representar as linhas respeitam a identidade anterior das linhas, o que gera confusão nos viajantes.
- Faltam as indicações de acessos a pessoas de mobilidade reduzida e outros pictogramas como por exemplo de horário restringido.
- Lamentam a dificuldade de diferenciar os transbordos curtos e longos e a fraca versatilidade de utilização desta versão no interior dos veículos, nas estações e para edições de bolso.

Dado o descontentamento existente com a nova proposta, nasce na primavera de 2007 o Sistema Integrado de Rede Ferroviária (RFI), com José Juan Navalón como *designer*. A associação leva o projecto como seu e com a ajuda de parceiros e amigos vão melhorando o plano até uma versão final, supervisionado por centenas de profissionais e amadores [4].

## **2. Como são actualmente criados estes mapas?**

Quanto aos métodos utilizados para a construção destes mapas, comumente não existe *software* específico para fazer mapas de metro por não se considerar rentável desenhar um *software* tão específico para fazer uma coisa que não se faz todos os dias. Os mapas são normalmente desenhados manualmente com *software* de desenho vectorial tipo Corel Draw, Paint Shop Pro, Photo Shop, Illustrator, Freehand ou MS Visio.

Existem vários mapas de diferentes autores, é exemplo o trabalho realizado por R. Schwandl ao desenhar inúmeras redes de metro de todo o mundo com recurso ao Paint Shop Pro 5 [5,6].

## **3. Resumo e Conclusão**

O novo plano é inovador em alguns aspectos, a fim de acomodar mais informação sem

criar ruído visual. Os mapas do metro são um exercício árduo para um *designer*, o seu desenvolvimento é complexo principalmente por serem utilizados intensivamente por milhões de pessoas.

Rafael Sañudo, pertencente à equipa Raro SL, é o desenhador gráfico autor do novo e polémico mapa de metro. O desenhador diz que eliminar as linhas curvas foi um choque para os viajantes. Fizemos sete versões diferentes e com muitos retoques [7]. A título de curiosidade, segundo o El País, o trabalho realizado para a criação do novo mapa teve um custo de 95.000€ [8]. Esta é actualmente a versão oficial do mapa do metro utilizada [9], em alternativa temos o RFI de José Juan Navalón [10].

#### 4. Referências

- [1] Ivogomes.com. (2007, April) PortugueseNovo mapa do metro de madrid. [Online]. Available: <http://www.ivogomes.com/blog/novo-mapa-do-metro-de-madrid/>
- [2] El mundo.es. (2007, April) SpanishUsuarios del metro rechazan el nuevo plano por ser 'confuso e ilegible'. [Online]. Available: <http://www.elmundo.es/elmundo/2007/04/18/-madrid/1176890540.html>
- [3] Terremoto.net. (2007, April) SpanishAnálisis del nuevo plano del metro de madrid. [Online]. Available: <http://www.terremoto.net/nuevo-plano-del-metro-de-madrid/>
- [4] Andén1. (2008, September) SpanishEl plano rfi de andén 1 cumple un año y lanza nuevas ediciones con más información y novedades. [Online]. Available: <http://www.anden1.org/2008/09/el-plano-rfi-de-anden-1-cumple-un-ano-y-lanza-nuevas-ediciones-con-mas-informacion-y-novedades/>
- [5] (2007) EnglishSubway maps. Amadeus Global Travel Distribution & UrbanRail.Net (R. Schwandl). [Online]. Available: <http://www.amadeus.net/home/new/-subwaymaps/en/index.htm>
- [6] R. Schwandl. EnglishUrbanrail.net. [Online]. Available: <http://www.urbanrail.net/>
- [7] (2007, April) Spanish"el nuevo mapa lo ha usado hasta mi suegra". Rafael Sañudo. [Online]. Available: <http://www.20minutos.es/noticia/224865/0/nuevo/mapa/metro/>
- [8] ElPaís. (2009, September) SpanishEl plano de los 100 padres. [Online]. Available: [http://elpais.com/diario/2007/09/03/madrid/1188818656\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2007/09/03/madrid/1188818656_850215.html)
- [9] Metromadrid.es. (2012, September) SpanishPlanos de metro de madrid. [Online].

Available: [http://www.metromadrid.es/es/viaja\\_en\\_metro/red\\_de\\_metro/planos/index.html](http://www.metromadrid.es/es/viaja_en_metro/red_de_metro/planos/index.html)

[10] (2012, July) SpanishUn plano para unirlos a todos. José Juan Navalón. [Online].

Available: <http://www.abstrait.es/rfimad/>



***Anexo IX – Diagramas de Arquitectura  
DynPublic.***

---



## 2. Arquitectura da Aplicação

A aplicação desenvolvida pode funcionar isoladamente, no entanto a sua construção teve como requisito ser um módulo do XTraN Passenger. Tendo este requisito como base de desenvolvimento, é necessário seguir a arquitectura e estrutura do actual XtraN Passenger para que o funcionamento com o módulo DynPublic seja o mais integrado e fiável possível.

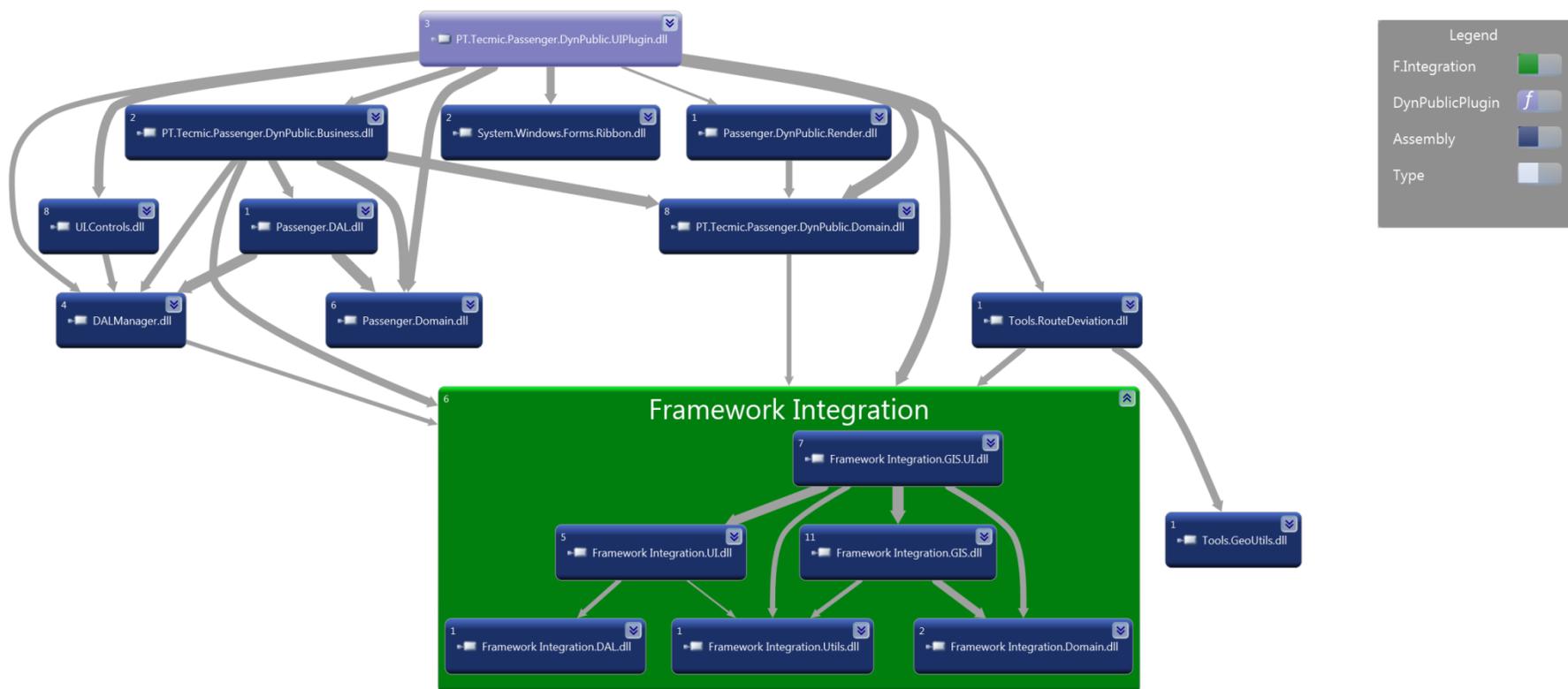


Figura 53 - Diagrama de dependências do módulo DynPublic.



O esquema a cima representa a arquitectura do módulo DynPublic, contendo os seus componentes principais e a sua organização. Cada uma das dependências tem uma função ou conjunto de funções específicas.

As dependências aqui representadas têm 4 origens diferentes sendo elas:

- Proveniente da aplicação XtraN Passenger;
- Criadas para o módulo DynPublic;
- Componentes Tecmic de uso partilhado entre projectos;
- Dependências externas, como componentes de desenho e trabalhos de terceiros.

Em seguida é dada uma explicação detalhada para cada uma das dependências.

### 2.1. DynPublic.UIPlugin

Este é o componente principal, pois é ele que contém a implementação dos componentes gráficos que permitem incorporar o módulo à aplicação principal XtraN Passenger.

É neste componente que está presente toda a interface gráfica do módulo DynPublic, incluindo formulários, imagens e *templates*.

Tem como principais dependências externas o Krypton, DotSpatial, GeoAPI, Microsoft Report Viewer, NetTopologySuite e SharpMap.

Foi construída com recurso aos mesmos componentes gráficos e hierarquia de componentes, de forma a facilitar a integração e manter a mesma aparência e estilo.

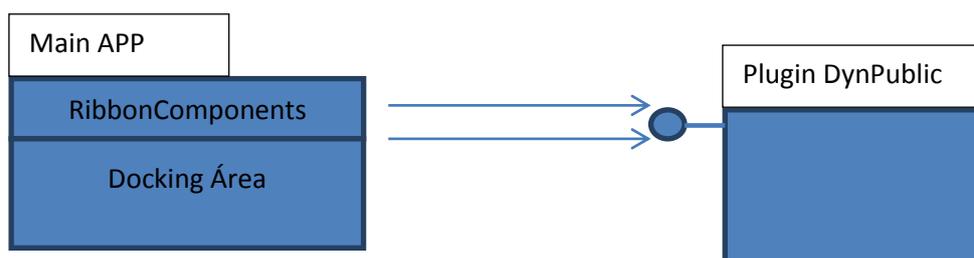


Figura 54 - Esquema representativo da interacção existente entre o XTraN Passenger e o módulo DynPublic criado.

### 2.2. DynPublic.Render

Recorre ao componente externo NVelocity para fazer a construção de horários HTML com base em *templates*.

### 2.3. DynPublic.Business

Contem as classes de negócio para efectuar maioritariamente tarefas de manipulação de objectos de domínio. Isto engloba acessos ao DAL, cálculo de horários e manipulação dos mapas, leitura e escrita em ficheiro e mapeamento de objectos.

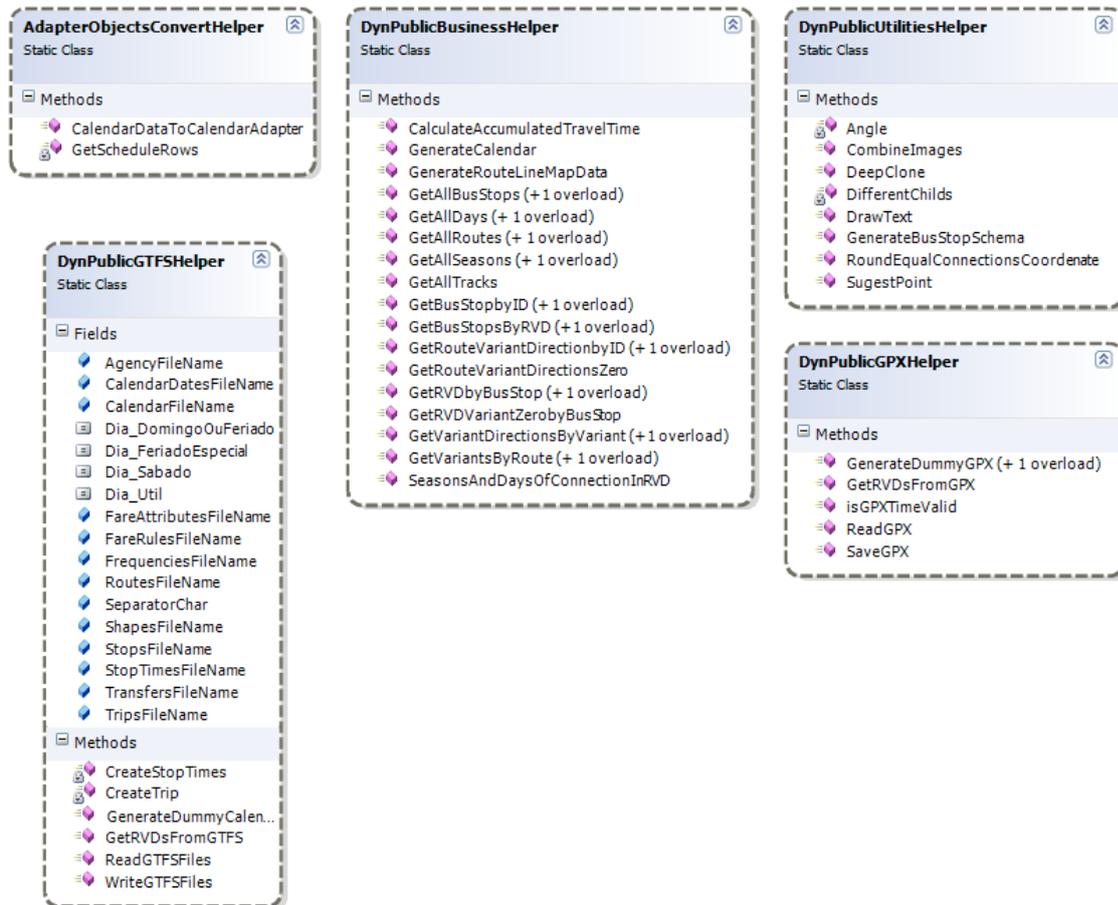


Figura 55 - Diagrama de classes detalhado do namespace DynPublic.Business

A classe DynPublicBusinessHelper contém parte da lógica do projecto DynPublic, efectua maioritariamente tarefas de manipulação de objectos de domínio. Isto engloba acessos ao DAL, cálculo de horários e manipulação dos mapas, leitura e escrita em ficheiro e mapeamento de objectos.

A classe AdapterObjectsConvertHelper é responsável por pegar nos dados e converter e preparar os dados que irão fornecer o Microsoft Report Viewer.

A classe DynPublicUtilitiesHelper contém funções auxiliares ao projecto, desde geração de imagens a clonagem de objectos e a cálculo de ângulos.

A classe DynPublicGTFShelper contém a lógica de manipulação da informação de horários no formato GTFS.

A classe DynPublicGPXHelper contém a lógica de manipulação da informação de rotas no formato GPX.

#### 2.4. Forms.Ribbon

Componentes gráficos utilizados para o menu superior do XtraN Passenger, utilizados também para o menu do DynPublic para manter o mesmo estilo e permitir a acoplação do menu do DynPublic no mesmo menu.

#### 2.5. DynPublic.Domain

Contém todas as classes de domínio criadas para dar suporte ao módulo DynPublic. Estas classes foram agrupadas com base no seu objectivo e função, segue-se a sua explicação.

##### 2.5.1. GTFSGeneration

O GTFS (General Transit Feed Specification) define um formato comum para representar horários de transporte público incluindo informação geográfica. Os *feeds* GTFS permitem às empresas de Transporte público publicar informação dos seus horários e aos *developers* desenvolver aplicações que consomem essa informação de forma interoperável.

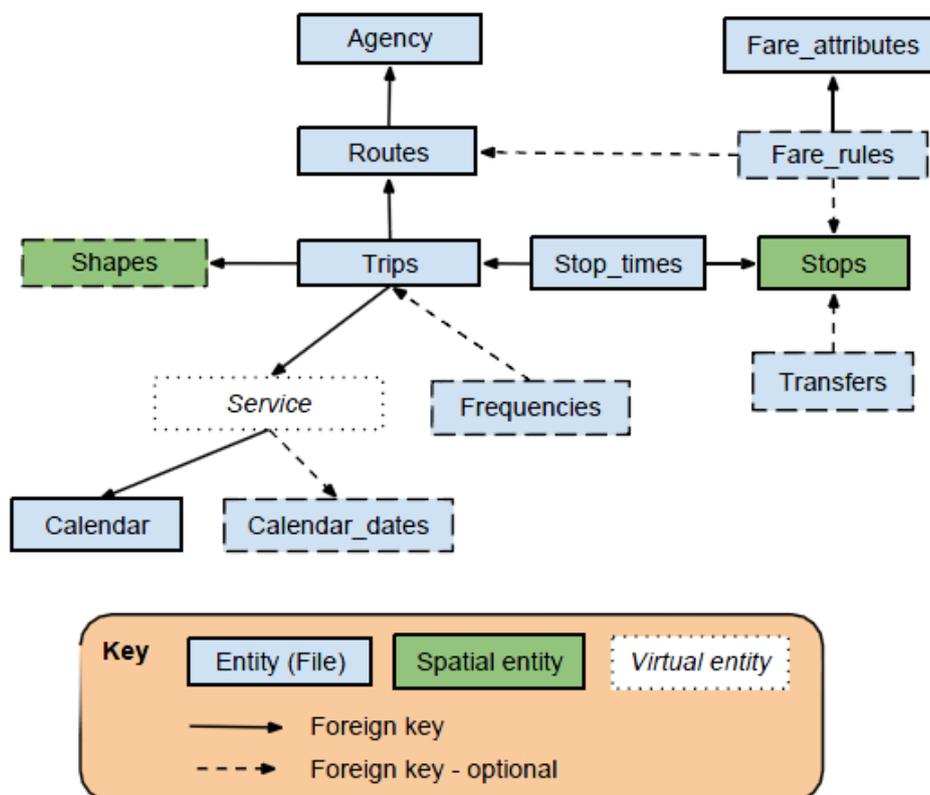


Figura 56 - Diagrama simplificado do modelo de dados do GTFS [1].



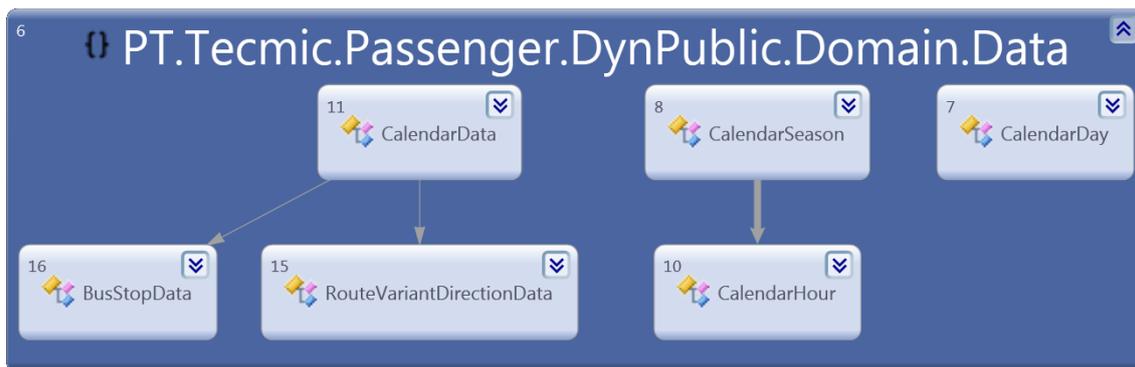


Figura 58 - Diagrama de classes para o namespace Data.

Os dados presentes no calendário provêm do domínio XtraN Passenger onde foram aplicados critérios e filtros escolhidos na parametrização, representada pelo *namespace* Geracao. Os horários são gerados em formato Microsoft Report Viewer, HTML, Doc, Excel e XML.

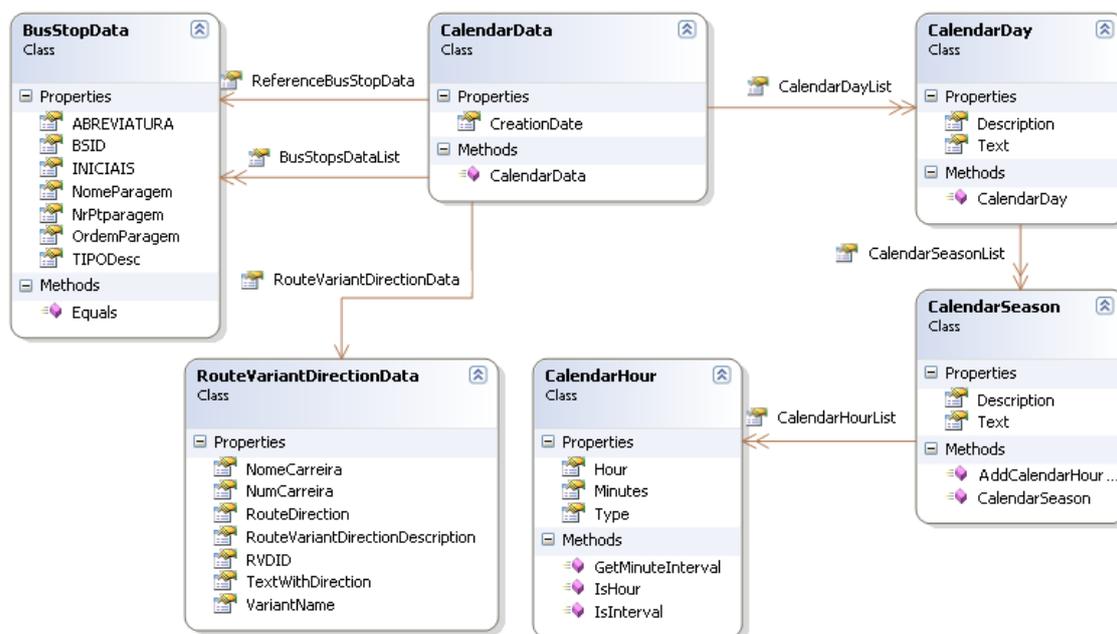


Figura 59 - Diagrama de classes detalhado do namespace Data.

A classe intitulada CalendarData representa a informação de Calendário para uma Paragem, sendo ela a seguinte:

1. A paragem de referência para a qual está destinado o referido calendário;
2. A lista de paragens da carreira variante sentido;
3. A data de geração do calendário;

4. A classe `RouteVariantDirectionData`, contém informação relativa à carreira variante sentido;
5. A lista de tipos de dia agrupados em épocas do ano e por sua vez em horas. Esta organização permite guardar informação relativa aos horários na paragem da corrente carreira variante sentido.

A classe intitulada `BusStopData` contém informação relativa à paragem.

A classe intitulada `CalendarDay` contém o tipo de dia que poderá tomar valores de por exemplo Útil, Sábado, Feriado, etc e uma lista de épocas.

A classe intitulada `CalendarSeason` contém uma lista de datas representativas da passagem do autocarro pela paragem em estudo e a época associada que poderá tomar valores de por exemplo Escolar, Não-Escolar, etc.

A classe intitulada `CalendarHour` contém a hora e minutos de passagem do autocarro na paragem de referência e o tipo de visibilidade por hora ou intervalo.

Em suma, com estas seis classes é possível armazenar a informação relativa ao calendário de uma paragem organizada por dia e época de forma hierárquica, tendo como finalidade a transformação em diversos formatos de apresentação e transporte como HTML, XML e GTFS.

### 2.5.3. Geracao

O seguinte conjunto de classes tem como objectivo de conter a informação de parametrização gerada pelo utilizador junto da interface para o efeito.

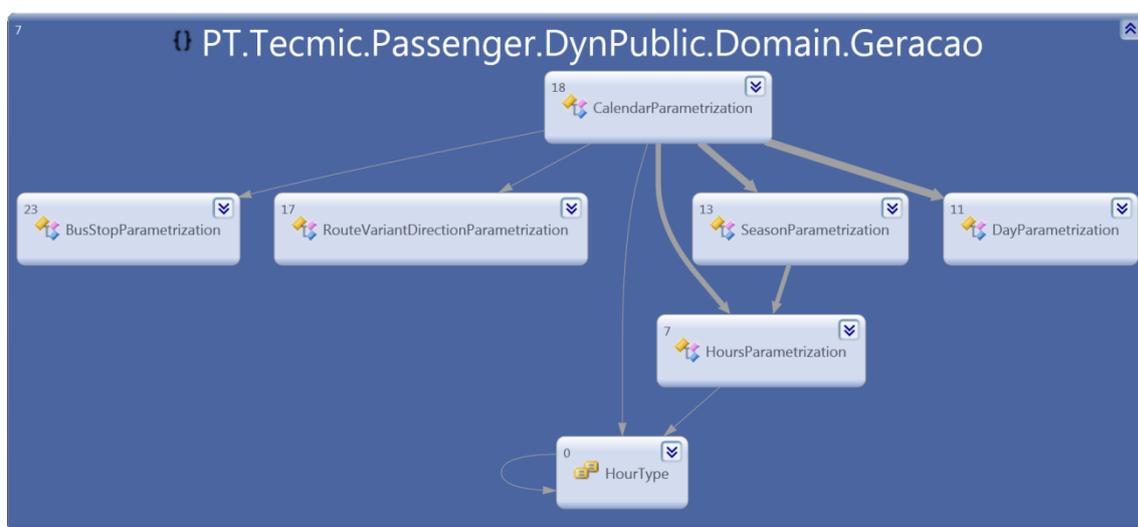


Figura 60 - Diagrama de classes para o *namespace* Data



**Figura 61 - Diagrama de classes detalhado do *namespace* Geração**

A classe intitulada CalendarParametrization, contém a informação de parametrização para a posterior geração dos horários da paragem, efectuada pelo utilizador. Contendo para isso a parametrização relativa à carreira variante sentido, à paragem de referência, à lista de paragens e aos dias, épocas e horas.

## 2.5.4. ForceDirectedMap

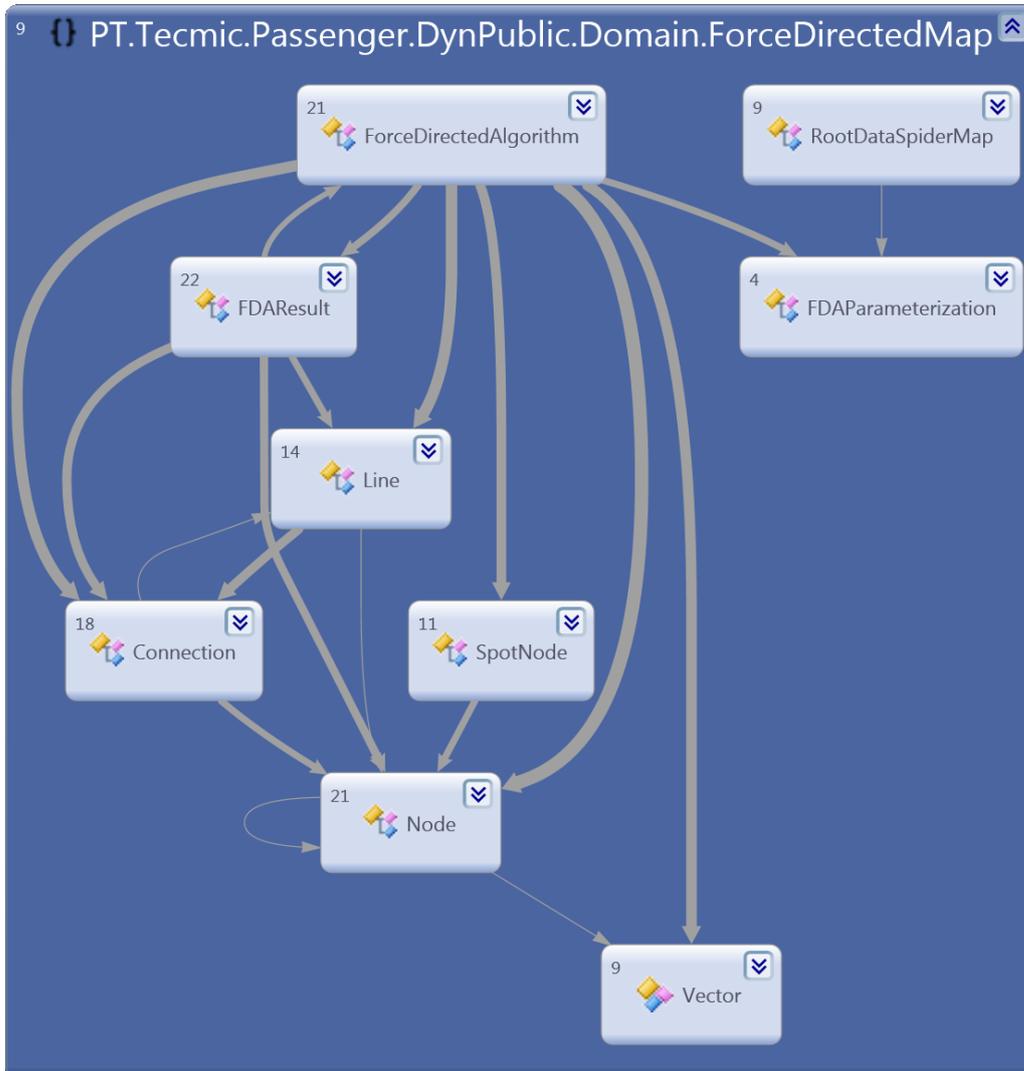


Figura 62 - Diagrama de classes do *namespace* ForceDirectedMap

As classes acima são responsáveis pela produção de um mapa da rede de transportes com recurso a um algoritmo baseado em *force-directed*. Este algoritmo utiliza uma estrutura de dados própria, por forma a tornar-se reutilizável para a resolução de outros problemas. O local onde estão os dados provenientes do domínio do problema é na classe `RootDataSpiderMaps`, que serão mapeados para a estrutura de dados do algoritmo a fim de ser gerado o mapa.

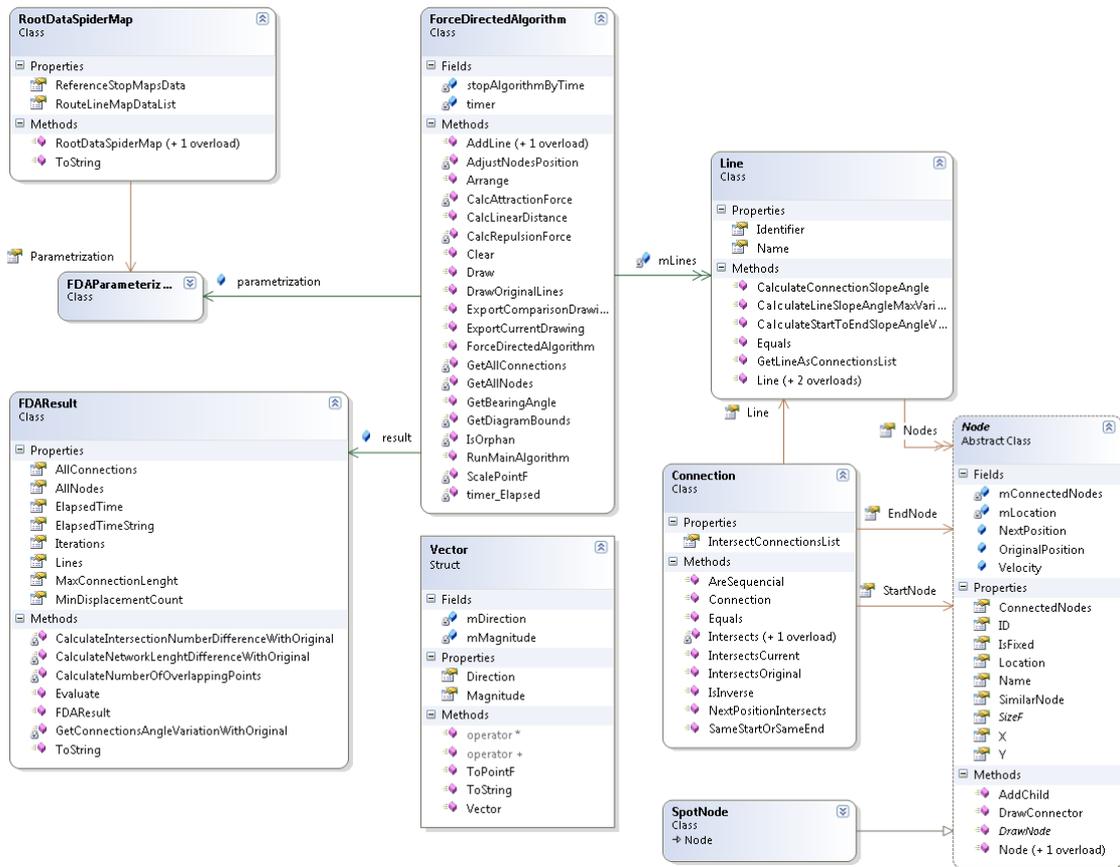


Figura 63 - Diagrama de classes detalhado do namespace ForceDirectedMap.

O objecto RootDataSpiderMap serve para armazenar informação do problema que pretendemos resolver. Contém os dados da rede e a parametrização afecta à produção dos SpiderMaps. A informação contida neste objecto é convertida para os objectos que o algoritmo conhece (Node, Connection e Line). Após a execução do algoritmo, o resultado é transposto para o objecto RootDataSpiderMap.

### 2.5.5. SchematicMaps

O seguinte conjunto de classes tem como objectivo dar suporte ao desenho dos mapas esquemáticos no componente gráfico de GIS, o SharpMap.

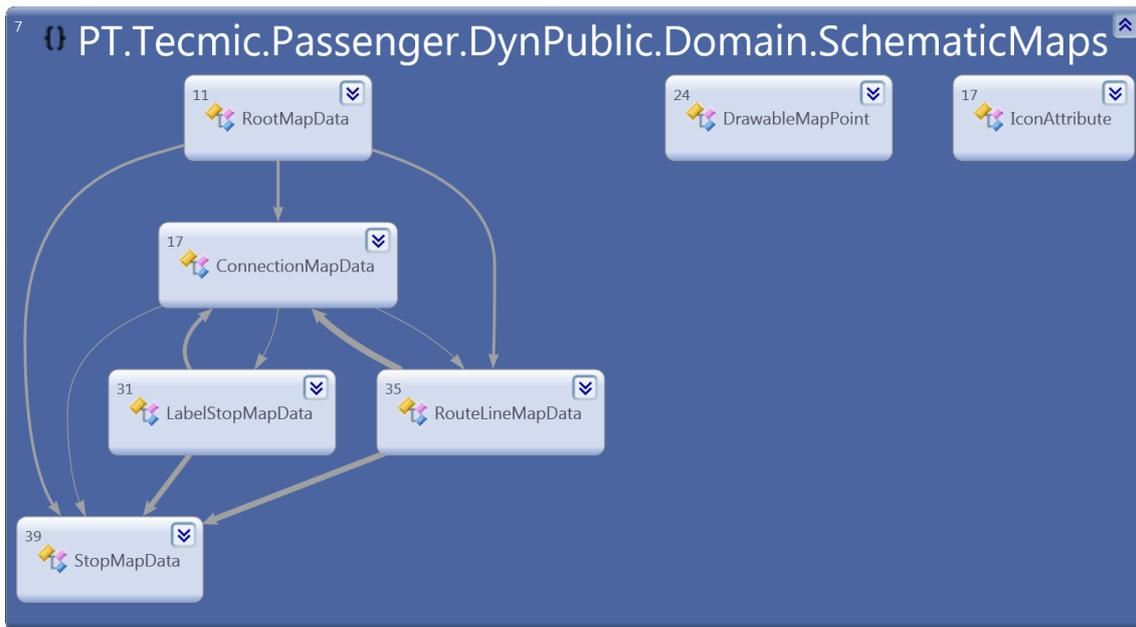


Figura 64 - Diagrama de Classes do namespace SchematicMaps.

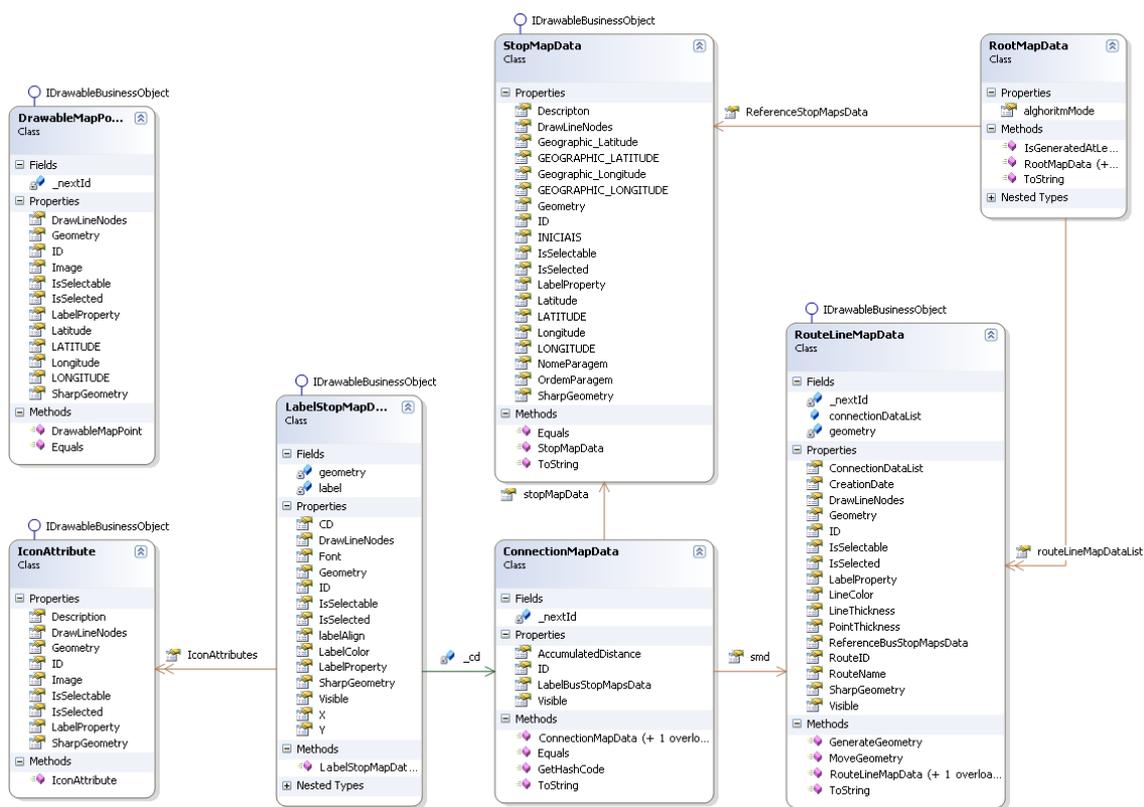


Figura 65 - Diagrama de classes detalhado do namespace SchematicMaps

A classe intitulada RootMapData contém toda a informação associada à criação dos mapas esquemáticos, incluindo dados de posicionamento e visualização associados aos dados das carreiras variante sentido.

### 2.5.6. Adapter Objects

As classes representadas acima são uma representação diferente da informação presente nas classes do Domain.Data. Esta representação é uma adaptação dos dados para serem consumidos pelo Microsoft Report Viewer. Através destas classes é possível criar *Object Data Source* para fornecer o relatório.



Figura 66 - Diagrama de classes do namespace AdapterObjects.

A classe intitulada CalendarAdapter tem como objectivo guardar a informação presente no Domain.Data mas de forma adaptada para permitir e facilitar a geração dos relatórios no Microsoft Report Viewer.

O CalendarAdapter tem um identificador que é gerado incrementalmente e propagado para as classes BusStopAdapter e ScheduleRowAdapter de forma a permitir relacionar objectos de forma simplificada.

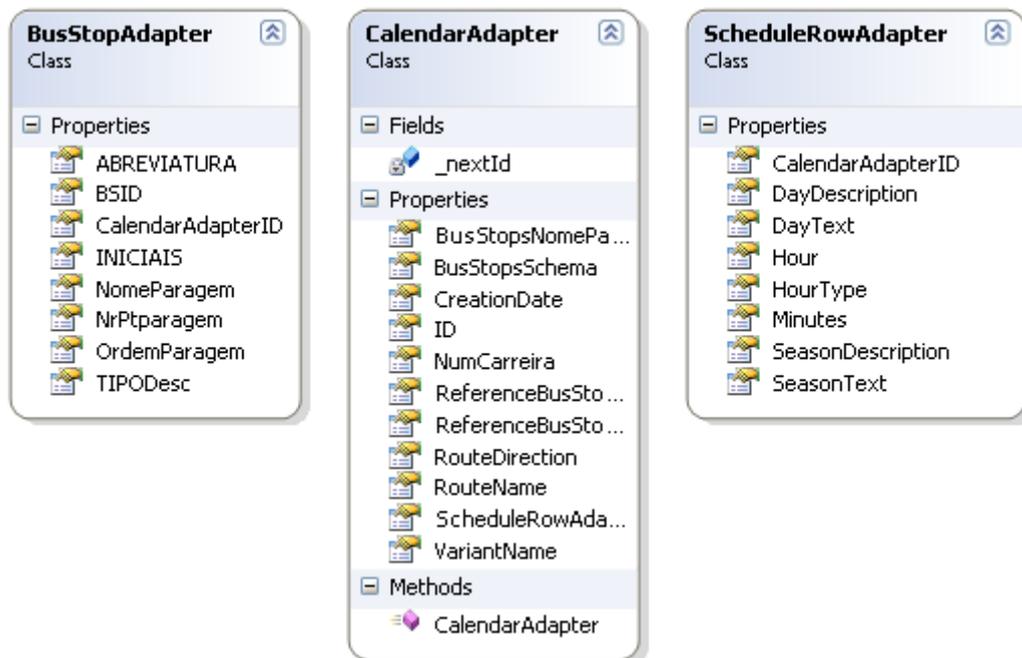


Figura 67 - Diagrama de classes detalhado do namespace AdapterObjects.

### 2.5.7. Project

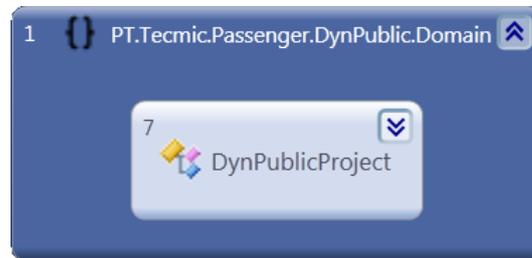


Figura 68 - Diagrama de classes do namespace Project.

A classe DynPublicProject é a classe responsável por armazenar toda a informação presente no projecto do módulo. Desta forma temos toda a informação sensível localizada num único sítio e com a vantagem que basta guardar a instância da classe para que os dados fiquem a salvo.

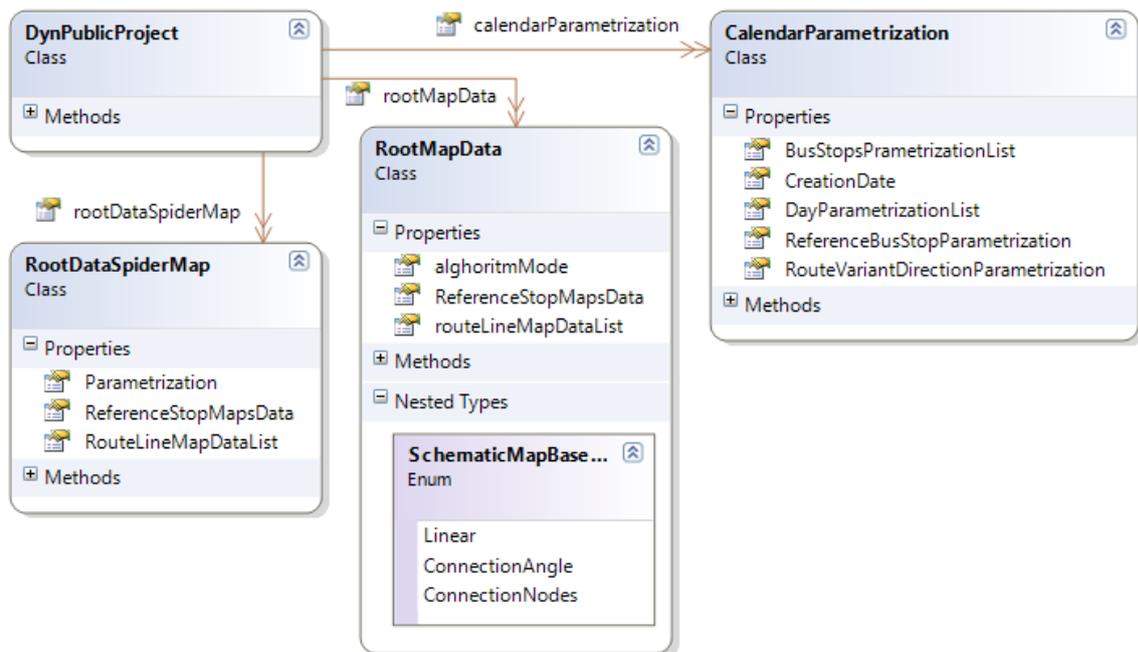


Figura 69 - Diagrama detalhado da classe DynPublicProject.

### 2.6. Passenger.DAL

Camada de acesso a dados, recorre ao NHibernate.

### 2.7. UI.Controls

Contém componentes gráficos a utilizar quando se está a construir uma interface para funcionar no XtraN Passenger ou em conjunto com este, obrigando a seguir as mesmas regras e restrições como o estilo gráfico. É através da implementação da interface

IMenuPlugin, presente neste componente, que é possível acoplar módulos ao XTraN Passenger.

### **2.8. Passenger.Domain**

Contém todas as classes de domínio pertencentes ao XTraN Passenger.

### **2.9. Tools.RouteDeviation**

Este módulo foi concebido para calcular desvios de rota temporais e espaciais tendo por base a especificação GPX de representação de rotas não sendo no entanto obrigatória a sua utilização. É recomendável que a unidade do sistema de referência geográfica a utilizar seja o WGS84.

Recorre aos módulos Framework Integration e Tools.GeoManipulation para representação dos dados e realização dos cálculos.

### **2.10. Tools.GeoUtils**

Ferramenta auxiliar para os cálculos geográficos, permitindo calcular distâncias euclidianas, distâncias geográficas, ângulos, posições derivadas de outras e calcular azimutes.

### **2.11. DALManager**

Este módulo segue a especificação definida no módulo Framework Integration no que toca ao acesso a dados e gestão de ligações, permitindo otimizar e controlar os acessos aos dados e os recursos utilizados.

### **2.12. Framework Integration**

Este componente, é na verdade um grupo de componentes mais pequenos por forma a reduzir a sua complexidade e poderem ser utilizados de forma independente.

Os seus componentes expõem funcionalidades que permitem agilizar e controlar o acesso a dados, usufruir de uma versão evoluída do SharpMap, manipulação de GIS e outras utilidades. Estes componentes têm as seguintes nomenclaturas (DAL, Utils, GUI, GIS, GUI.UI).

Os grandes projectos de *software* devem ter como objectivo ser duradouros e isso leva à necessidade de encontrar mecanismos que permitam a constante actualização minimizando o esforço. Com esse objectivo foi criada esta *framework* para juntar funcionalidades comuns a vários projectos, visando a reutilização. A empresa Action Modulers, contribuiu

para a existência desta *framework*, as principais tarefas que foram realizadas estão relacionadas com o desenvolvimento de uma base comum que permite a fácil integração de *software* desenvolvidos por ambas as empresas.

Estes módulos têm como principais dependências externas o NHibernate, SharpMap, GeoAPI, NetTopologySuite, OpenTK, Krypton e Log4Net.

### 2.13. Tools.GeoManipulation

Visto que a versão actual da GeoApi e NetTopologySuite é bastante poderosa no que toca a manipulação de geometrias, pretende-se que seja utilizada. Uma vez que esta nova versão não é retro compatível, sentiu-se a necessidade de tornar a utilização das funcionalidades da nova API de forma transparente e foi nessa condição que surgiu esta ferramenta.

Este módulo tem como principais referências externas o GeoAPI versões 1.0.0.0 e 2.0.0.0 e o NetTopologySuite versões 1.7.3.30582 e 2.11.

### 3. Referências Externas

O corrente projecto recorreu, sempre que possível a bibliotecas externas para dar suporte à implementação da solução. Esta medida apresenta a vantagem de reduzir a quantidade de código a produzir directamente por parte do programador e a reutilização da biblioteca sempre que necessário. No entanto é necessário ir verificando se existem actualizações e correcções à biblioteca externa de forma a mantermos a nossa solução actualizada e sem problemas.

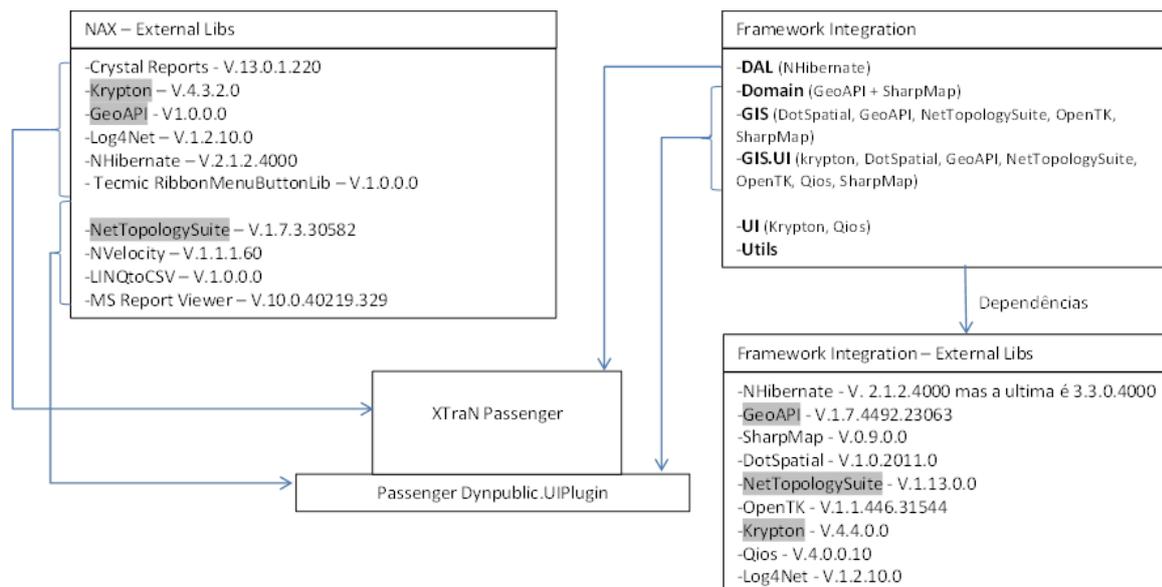


Figura 70 - Esquema representativo das dependências externas.

Pretende-se representar com o esquema acima, as dependências existentes no projecto.

Temos duas fontes de dependências externas que evoluíram separadamente, sendo elas a Framework Integration e Nova Arquitectura XTraN (NAX).

Uma vez que o módulo DynPublic depende de bibliotecas externas da Framework Integration que estão mais actualizadas que as utilizadas pela aplicação XtraN Passenger. É portanto necessário actualizar a NAX para que não ocorram conflitos entre as dependências. As bibliotecas nesta situação são a NetTopologySuite, GeoAPI e Krypton.

De notar que estas divergências ocorreram durante o desenvolvimento do projecto DynPublic, no início este problema colocava-se mas foi rapidamente resolvido porque as novas bibliotecas eram retro compatíveis. Neste momento apenas as bibliotecas NetTopologySuite e GeoAPI requerem a alteração do código fonte das aplicações para que tudo fique funcional.

### **3.1. Krypton**

O Krypton é uma ferramenta que contém componentes gráficos com uma interface agradável. A ferramenta desenvolvida pela Component Factory, tem os seus componentes com um estilo baseado principalmente no Office 2007 e 2010. É utilizado nos namespaces DynPublic.UIPlugin e Framework Integration.

### **3.2. OpenTK**

O OpenTK é uma biblioteca avançada de baixo nível, implementada em C # que envolve OpenGL, OpenCL e OpenAL. É adequada para jogos, aplicações científicas e qualquer outro projecto que requer gráficos 3D, áudio ou funcionalidades de computação. É utilizada na Framework Integration nos componentes de GIS.

### **3.3. Microsoft Report Viewer**

O Microsoft Report Viewer é um controlo gráfico que pode ser integrado em aplicações .NET, com a finalidade de exibir relatórios. É utilizado para gerar os horários e relatório de desvio de rota e está referenciado no namespace DynPublic.UIPlugin.

### **3.4. SharpMap**

O SharpMap é uma biblioteca de mapas fácil de usar para aplicações web e desktop. Fornece acesso a muitos tipos de dados GIS, permite a consulta espacial dos dados e desenha mapas de várias fontes. O motor do SharpMap é escrito em C#. É referenciado no

*namespace* Framework Integration.

### **3.5. DotSpatial**

DotSpatial é uma biblioteca de GIS escrita em .NET 4. Permite aos programadores incorporar dados geográficos, análise e mapeamento de funcionalidades nas suas aplicações e a abrir shapefiles, grids, rasters and images. É utilizado pelo motor do SharpMap.

### **3.6. GeoAPI**

Define um conjunto básico de interfaces para manipulação de meta-dados, para referenciamento geodésico, projecção e conversão. As interfaces desenvolvidas pelo projecto GeoAPI incluem muitas das estruturas de dados e métodos de manipulação necessários para aplicações em sistemas de informações geográficas. GeoAPI.NET fornece uma estrutura comum baseada no OGC / ISO para melhorar a interoperabilidade entre projectos de GIS. É uma das bibliotecas mais referenciadas no projecto, sendo utilizada por Tools.GeoManipulation, Framework Integration, DynPublic.UIPlugin, Passenger.Domain e DynPublic.Domain.

### **3.7. NHibernate**

O NHibernate é uma solução de ORM para ser utilizada na plataforma de desenvolvimento Microsoft .NET, fornece o mapeamento do modelo relacional para a POO. É utilizada pela Framework Integration, PassengerDAL e DALManager.

### **3.8. NVelocity**

NVelocity é um motor de *templates*, disponibiliza uma linguagem simples e poderosa para a definição de *templates* para referenciar objectos definidos em código .NET. É utilizado no namespace Dynpublic.Renderer.

### **3.9. LinqtoCSV**

É uma biblioteca popular, fácil de usar para ler e gravar arquivos CSV ou outros. Suporta campos de dados que contêm vírgulas e quebras de linha. Suporta a codificação de caracteres diferentes, caracteres de separação e formatos de data e número. Manipulação robusta de error que possam ocorrer, permitindo corrigir rapidamente os problemas. É utilizado na leitura dos ficheiros pertencentes ao formato GTFS pelo *namespace* DynPublic.Business.

### **3.10. NetTopologySuite**

A NTS Topology Suite é uma API para modelar e manipular geometria linear de duas

dimensões. Fornece inúmeros predicados geométricos e funções. A API está em conformidade com a especificação das características simples. Implementa a especificação da GeoAPI. É utilizada nos *namespaces* DynPublic.UIPlugin, Framework Integration, Tools.GeoManipulation, Tools.RouteDeviation, Passenger.Domain e DynPublic.Domain.

### **3.11. Log4Net**

Log4net é uma ferramenta para ajudar a criação e automação de *logs* com vários destinos. No caso de ocorrerem problemas com a aplicação, é permitido activar o registo em tempo de execução sem modificar o binário da aplicação por forma a localizar o problema. É utilizado nos *namespaces* Framework Integration, UI.Controls e DalManager.

## **4. Bibliografia**

- [1] "DrJTS". Data model diagrams for GTFS. [Online]. Available: <http://lin-ear-thinking.blogspot.pt/2011/09/data-model-diagrams-for-gtfs.html>, September 2011.
- [2] Google Developers. General transit feed specification reference. [Online]. Available: <https://developers.google.com/transit/gtfs/reference>, February 2012.
- [3] Kizoom and ITO World. Gtfs / transmodel comparison & schema. [Online]. Available: <http://www.dft.gov.uk/transmodel/schema/doc/GoogleTransit/TransmodelForGoogle-09.pdf>, December 2008.