

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Cartografia Digital Colaborativa para Simulação de Tráfego Utilizando Logs GPS

Autor: Bruno Magalhães

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientadores: Rosaldo Rossetti e Pedro Tavares

Julho de 2012

© Bruno Filipe da Silva Oliveira Magalhães, 2012

Cartografia Digital Colaborativa para Simulação de Tráfego Utilizando Logs GPS

Bruno Filipe da Silva Oliveira Magalhães

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Prof. Doutor Eugénio da Costa Oliveira

Vogal Externo: Prof. Doutor Fernando Augusto Cruz e Silva Mouta

Orientador: Prof. Doutor Rosaldo José Fernandes Rossetti

20 de julho de 2012

Resumo

A simulação de tráfego constitui cada vez mais uma temática em crescente nos dias de hoje, contudo para que a simulação seja credível implicará um processo de modelação de rede bastante custoso. A modelação de uma rede rodoviária real implica sempre a análise de mapas digitais, que poderão estar já desatualizados, ou com informação errada. Para além de este facto nos invocar em erro é também uma tarefa muito exaustiva.

O projeto pretende assim, constituir uma forma menos custosa e automatizada na modelação de redes rodoviárias utilizadas na simulação. Com esse propósito serão assim recolhidos e analisados logs GPS de condutores de veículos, e obtidas informações sobre a rede em questão. Executado e implementada a tarefa descrita anteriormente, proceder-se-á à visualização do percurso realizado através de um visualizador gráfico e por fim será executada a simulação da rede utilizando um simulador de tráfego.

A implementação do projeto possibilitou a modelação de redes rodoviárias reais, através da caracterização dos segmentos de vias que a compunham, e conseqüentemente a simulação do modelo gerado.

O presente documento contém assim, a revisão bibliográfica sobre o tema em análise, começando pela definição de diferentes conceitos mais relevantes, identificação de diversas técnicas e trabalhos já desenvolvidos na área. Contém também a descrição de todas as técnicas, abordagens e métodos utilizados com o objetivo de chegar à solução final.

Abstract

Today, traffic simulation is becoming increasingly a special theme, however for that simulation be credible it will involve a modeling process very costly. The modeling of a real road network always involves the analysis of digital maps, which may already be outdated or with incorrect information. Apart from this fact is also a very exhaustive task.

The project intends to make less costly the modeling process network used in simulation. With this purpose, will be collected and analyzed GPS logs of vehicle drivers, and obtained information about the network in question. Executed and implemented the task described above, it will proceed to display the route taken by a graphics viewer and finally executed the network simulation using a traffic simulator.

The implementation of this project allowed modeling real road network, gets the characterization of the segments that compose the network, and consequently have the simulation of generated model.

This report contains the literature review about the theme in question, starting with the definition of different concepts most relevant, various techniques and works already developed in the area. It also contains a description of all the techniques, approaches and methods used in order to achieve a final solution.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos professores Rosaldo José Fernandes Rossetti e José Pedro Tavares pelo magnífico apoio prestado durante toda esta dissertação.

Não queria deixar de referir e agradecer todo o apoio também que me proporcionou o aluno de doutoramento José Luís Ferrás Pereira mostrando-se sempre disponível.

Por último e não menos importante, agradeço também a toda a minha família, e namorada Marta Alexandra por todo o incentivo e força que me deram durante todo o projeto.

Bruno Filipe da Silva Oliveira Magalhães

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Problema	1
1.2.	Objetivos e Contribuições Esperadas	2
1.3.	Estrutura do relatório.....	2
2.	Revisão Bibliográfica.....	3
2.1.	Simulação.....	3
2.2.	Aplicações de Simulação	4
2.3.	Modelação	5
2.3.1.	Codificação do Modelo	5
2.3.2.	Calibração.....	6
2.3.3.	Validação.....	6
2.3.4.	Aplicação do Modelo	7
2.4.	Tipos de Modelos de Simulação	7
2.4.1.	Nível de Detalhe.....	7
2.4.2.	Nível Temporal	10
2.4.3.	Nível de Representação do Processo.....	10
2.5.	Simuladores SUMO e DIVERT	10
2.5.1.	SUMO	10
2.5.2.	DIVERT	14
2.6.	Aspetos importantes de simulação	15
2.6.1.	Modelo de Geração de Veículos	15
2.6.2.	Modelo de Rede	15
2.6.3.	Modelo de Regulação de Tráfego	16
2.6.4.	Modelo de Sinal de Controlo.....	16
2.6.5.	Modelo de Ação do Veículo.....	17
2.6.6.	Modelo de Escolha de Rota.....	18
2.7.	Modelo de Dados	19
2.7.1.	OpenStreetMap.....	20
2.7.2.	Tele Atlas	21
2.7.3.	Google Maps	23
3.	Solução.....	26
3.1.	Objetivos do Projeto.....	26
3.2.	Metodologia	26
3.3.	Modelo de Dados	29
3.4.	Técnicas de Inferência.....	31

3.4.1.	Sentido das vias.....	31
3.4.2.	Velocidades.....	32
3.4.3.	Movimentos Permitidos	35
3.5.	Métodos de Avaliação da Solução	36
4.	Implementação	37
4.1.	Tecnologias/Ferramentas	37
4.2.	<i>NoniGPSPlot</i>	39
4.3.	<i>Parsers</i>	39
4.3.1.	<i>Parser</i> de Leitura dos Logs GPS dos percursos realizados.....	39
4.3.2.	<i>Parser</i> de Leitura dos Segmentos de Vias da Zona do Campus do Porto	40
4.4.	Algoritmo de Mapeamento dos Logs GPS.....	41
4.5.	Estruturas de Dados Utilizadas	45
4.6.	Métodos de Inferência sobre Logs GPS	47
4.6.1.	Inferência sobre Logs GPS para determinação do sentido das vias	49
4.6.2.	Inferência sobre Logs GPS para determinação de velocidades.....	53
4.6.3.	Inferência sobre Logs GPS para determinação dos movimentos permitidos	59
4.7.	Visualizador	61
4.7.1.	Conteúdo Tabela Nodes	61
4.7.2.	Conteúdo Tabela Segmentos	62
4.7.3.	Representação Gráfica do Percurso.....	62
4.8.	Exportação para SUMO	66
4.8.1.	Construção de Nodes.....	66
4.8.2.	Construção de Edges	67
4.8.3.	Construção de Connections.....	69
4.8.4.	Construção de Routes.....	71
4.8.5.	Construção do Modelo de Rede	72
4.8.6.	Ficheiro de Configuração	74
5.	Testes e Avaliação de Resultados	76
5.1.	Testes Realizados sobre o Sentido dos Segmentos de Via.....	77
5.2.	Testes Realizados sobre as Velocidades dos Segmentos de Via.....	84
5.3.	Testes Realizados sobre Movimentos Permitidos	89
6.	Conclusões	95
6.1.	Considerações Finais.....	95
6.2.	Trabalho Futuro.....	96
	Bibliografia	97

Índice de Figuras

Figura 1 - Processo de modelação de uma rede	5
Figura 2 - Interface de uma rede utilizando o simulador SUMO (Exemplo 2).....	13
Figura 3 - Interface de uma rede utilizando o simulador SUMO (Exemplo 1).....	13
Figura 4 - Interface de uma rede utilizando o simulador DIVERT	14
Figura 5 - Representação do modelo de rede	16
Figura 6 - Representação do estado de condução livre	17
Figura 7 - Representação do estado de emergência	17
Figura 8 - Representação do estado do veículo seguinte.....	17
Figura 9 - Lacuna insuficiente para a mudança de via	18
Figura 10 - Lacuna suficiente para mudança de via	18
Figura 11 - Grafo não dirigido	19
Figura 12 - Diagrama de Arquitetura do Projeto.....	27
Figura 13 - Exemplo do posicionamento de um veículo numa via durante o seu percurso	28
Figura 14 - Modelo de Dados do Projeto	30
Figura 15 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade média de um segmento de via.....	32
Figura 16 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade máxima registada na via ..	33
Figura 17 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade mínima registada na via...	34
Figura 18 – Diagrama de atividades na determinação dos movimentos permitidos em cada segmento de via.....	35
Figura 19 - Exemplo de um excerto do ficheiro nodes.sql.....	40
Figura 20 - Exemplo de um excerto do ficheiro segmentos.sql	40
Figura 21 – Exemplo do mapeamento de logs GPS	41
Figura 22- Diagrama de atividades do algoritmo de mapeamento.....	42
Figura 23 - Diagrama de atividades do algoritmo de cálculo da distância do Node a um Segmento.....	43
Figura 24 - Representação da passagem de um segmento de via a outro sem passar por um segmento intermédio	44
Figura 25 - Estrutura vetor de vetor	45
Figura 26 - Diagrama de atividades na construção da estrutura vetor de vetor.....	47
Figura 27 - Representação gráfica de um segmento de via com o sentido do início para o fim do mesmo	49
Figura 28 - Representação gráfica de um segmento de via com o sentido do fim para o início do mesmo	49
Figura 29 - Primeira parte do diagrama de atividades na determinação do sentido das vias	51
Figura 30 - Segunda parte do diagrama de atividades na determinação do sentido das vias	52
Figura 31 - Representação gráfica dos Nodes importantes na determinação da velocidade média dos segmentos de via.....	53
Figura 32 – Diagrama de atividades na determinação da velocidade média das vias (Fase 1) ...	54
Figura 33 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade média das vias (Fase 2)....	55
Figura 34 - Representação gráfica dos Nodes a ter em consideração na determinação da velocidade máxima dos segmentos de via.....	56
Figura 35 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade máxima das vias.....	57
Figura 36 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade mínima das vias	58
Figura 37 - Representação do movimento permitido do Segmento A para o Segmento B.....	59
Figura 38 - Diagrama de atividades na determinação dos movimentos permitidos nas vias	60
Figura 39 - Vista criada para a tabela Nodes.....	61
Figura 40 - Vista criada para a tabela Segmentos de Via.....	62

Figura 41 - Visualizador Gráfico (Exemplo 1)	63
Figura 42 - Visualizador Gráfico (Exemplo 2)	64
Figura 43 - Visualização dos atributos de um Node em específico	65
Figura 44 - Algoritmo usado na construção do ficheiro node.xml	66
Figura 45 - Exemplo de um ficheiro node.xml usado pelo simulador SUMO	67
Figura 46 - Algoritmo usado na construção do ficheiro edge.xml	68
Figura 47 - Exemplo de um ficheiro edge.xml usado pelo simulador SUMO	69
Figura 48 - Algoritmo usado na construção do ficheiro connection.xml	69
Figura 49 - Exemplo de um ficheiro connection.xml usado pelo simulador SUMO	70
Figura 50 - Exemplo de um ficheiro route.xml usado pelo simulador SUMO	71
Figura 51 - Exemplo de um ficheiro net.xml criado	73
Figura 52 - Ficheiro de configuração do simulador SUMO	74
Figura 53 - Simulador de toda a rede utilizando simulador o SUMO – Exemplo 1	74
Figura 54 - Simulador de uma parte da rede utilizando o simulador SUMO – Exemplo 2	75
Figura 55 - Simulador de uma parte da rede utilizando o simulador SUMO – Exemplo 3	75
Figura 56 - Percurso realizado com visualização no Google Earth	76
Figura 57- Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro representada no OpenStreetMap	77
Figura 58 - Representação da Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro no simulador SUMO	77
Figura 59 - Rua Doutor Roberto Frias representada no OpenStreetMap – 1 sentido	78
Figura 60 - Rua Doutor Roberto Frias representada no OpenStreetMap - 2 sentidos	78
Figura 61 - Representação da Rua Dr. Roberto Frias no simulador SUMO – 1 sentido (Parte 1)	79
Figura 62 - Representação da Rua Dr. Roberto Frias no simulador SUMO – 2 sentidos (Parte1)	79
Figura 63 - Representação da Rua Dr. Roberto Frias no simulador SUMO – 1 sentido (Parte 2)	79
Figura 64 - Representação da Rua Dr. Roberto Frias no simulador SUMO – 2 sentidos (Parte2)	79
Figura 65 - Estrada da Circunvalação representada no OpenStreetMap	80
Figura 66 - Representação da Estrada da Circunvalação no simulador SUMO - Parte 1	80
Figura 67 - Representação da Estrada da Circunvalação no simulador SUMO - Parte 2	80
Figura 68 - Rua Doutor António Bernardino de Almeida representada no OpenStreetMap – 1 sentido	81
Figura 69 - Rua Doutor António Bernardino de Almeida representada no OpenStreetMap – 2 sentidos	81
Figura 70 - Representação da Rua Doutor António Bernardino de Almeida no simulador SUMO – 1 sentido (Parte 1)	82
Figura 71 - Representação da Rua Doutor António Bernardino de Almeida no simulador SUMO – 2 sentidos (Parte 2)	82
Figura 72 - Rua Doutor Manuel Pereira da Silva representada no OpenStreetMap	83
Figura 73 - Representação da Rua Doutor Manuel Pereira da Silva no simulador SUMO – Parte 1	83
Figura 74 - Representação da Rua Doutor Manuel Pereira da Silva no simulador SUMO – Parte 2	83
Figura 75 – Movimentos reais permitidos na Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro	89
Figura 76 - Movimentos reais permitidos na Rua Dr. Roberto Frias (Parte 1)	90
Figura 77 - Movimentos reais permitidos na Estrada da Circunvalação	91
Figura 78 - Movimentos reais permitidos na Rua Dr. António Bernardino de Almeida	92
Figura 79 - Movimentos reais permitidos na Rua Dr. Manuel Pereira da Silva	93
Figura 80 - Movimentos reais permitidos na Rua Dr. Roberto Frias (Parte 2)	94

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Exemplos do uso de simulação	4
Tabela 2 - Variáveis que podem sofrer métodos de calibração.....	6
Tabela 3 - Tipos de Modelos segundo o nível de detalhe e suas características.....	9
Tabela 4 - Caracterização de <i>Nodes</i> segundo o simulador SUMO	11
Tabela 5 - Caracterização de <i>Edges</i> segundo o simulador SUMO	11
Tabela 6 - Caracterização de <i>Routes</i> segundo o simulador SUMO	12
Tabela 7 - Caracterização de <i>Connections</i> segundo o simulador SUMO	12
Tabela 8 - Exemplo de Tags no modelo OpenStreetMap	21
Tabela 9- Limites máximos de circulação nos diferentes tipos de vias em Portugal	56
Tabela 10 - Segmentos constituintes da Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro com as respetivas velocidades.....	84
Tabela 11 - Segmentos constituintes da Rua Dr. Roberto Frias com as respetivas velocidades.	85
Tabela 12 - Segmentos constituintes da Estrada da Circunvalação com as respetivas velocidades	86
Tabela 13 - Segmentos constituintes da Rua Dr. António Bernardino de Almeida com as respetivas velocidades.....	87
Tabela 14 - Segmentos constituintes da Rua Dr. Manuel Pereira da Silva com as respetivas velocidades.....	88
Tabela 15 - Velocidades Médias de todas as ruas do percurso	88
Tabela 16- Resultado dos movimentos permitidos inferidos na rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro.....	89
Tabela 17 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Rua Dr. Roberto Frias (Parte 1)	90
Tabela 18 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Estrada da Circunvalação.....	91
Tabela 19 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Rua Dr. António Bernardino de Almeida.....	92
Tabela 20 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Rua Dr. Manuel Pereira da Silva	93
Tabela 21 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Rua Dr. Roberto Frias (Parte 2)	94

Abreviaturas e Símbolos

API	<i>Application Programming Interface</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
SIG	<i>Sistema de Informação Geográfica</i>
GPX	<i>GPS eXchange Format</i>
KML	<i>Keyhole Markup Language</i>
TXT	<i>Text File</i>
FEUP	<i>Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto</i>
UbiComp	<i>Computação Ubíqua</i>
Aml	<i>Inteligência Artificial</i>
SUMO	<i>Simulation of Urban Mobility</i>
LIACC	<i>Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência de Computadores</i>
DEI	<i>Departamento Engenharia Informática</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
DIVERT	<i>Development of Inter-VEhicular Reliable Telematics</i>
MYDDAS	<i>MySQL/Yap Deductive Database System</i>

1. Introdução

Nos dias de hoje, a mobilidade urbana constitui um assunto atual, social e economicamente muito importante. Na área da Engenharia Informática e Computação a mobilidade urbana poderá ser bastante influenciada por tecnologias móveis, tais como [TEMOV]:

- Computação Ubíqua (UbiComp);
- Inteligência Ambiente (AmI);
- Arquiteturas Baseadas em Serviços (SOA).

De facto com o intuito de representar a mobilidade urbana, o recurso a modelos de simulação de tráfego para estudo da mobilidade torna-se atualmente indispensável. Para tal será fulcral e essencial obter uma ótima modelação do sistema de transporte, garantindo assim uma simulação o mais real possível, proporcionando posteriormente tomadas de decisões com o objetivo de melhorar as condições de circulação de uma rede rodoviária.

1.1. Problema

Atualmente, a simulação de tráfego é uma ferramenta bastante utilizada, principalmente pelo facto de permitir a alteração de variáveis pertencentes a uma rede num ambiente informático e, conseqüentemente, avaliar os impactos, tarefa essa praticamente impossível de realizar-se em ambientes reais. Contudo, nos dias de hoje para que essa simulação seja o mais real possível, será obrigatório despende bastante tempo no processo de modelação das redes rodoviárias, visto que se trata de um processo quase 100% manual. Na modelação de uma rede será necessário executar processos exaustivos de análise de mapas digitais, possíveis mudanças e atualizações desses mesmos mapas tendo presente o ambiente real, tarefa essa que envolve sempre imensos recursos.

Assim, o presente projeto pretende contribuir na redução dos recursos necessários para a modelação de redes rodoviárias, utilizadas em modelos de simulação de tráfego. Para tal serão utilizados dados de logs GPS recolhidos, que serão obtidos através de uma aplicação que guardará dados relativos aos diferentes percursos realizados. Estes dados serão tratados, aplicando-se técnicas de inferência para que se possa modelar da melhor forma possível diferentes redes.

1.2. Objetivos e Contribuições Esperadas

O projeto de dissertação consiste em tornar possível a modelação de redes rodoviárias através da recolha de dados GPS, para que de seguida seja possível utilizar esse modelo gerado na simulação de tráfego. Espera-se após a implementação do projeto conseguir-se que o processo de modelação de redes seja o mais automático possível, tornando possível modelar qualquer trajeto efetuado previamente de automóvel, e consequentemente visualizar a simulação do modelo obtido.

1.3. Estrutura do relatório

O presente relatório encontra-se dividido em seis capítulos.

Após este primeiro capítulo de Introdução, onde se apresenta uma contextualização do problema, identificando os principais objetivos do projeto que deverão ser alcançados com a sua implementação, o relatório está dividido em cinco capítulos, a seguir descritos.

O segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, contém o estudo realizado sobre o estado da arte em aspetos relacionados com a simulação, bem como modelos de dados que servirão de suporte à aplicação desenvolvida, e ainda diversos aspetos importantes a ter em conta na fase de implementação do projeto.

O terceiro capítulo, Solução, apresenta a metodologia que será seguida na fase de implementação, o modelo de dados que será utilizado, e a forma de avaliar a solução final a que se chegou.

O quarto capítulo, Implementação, apresenta a forma como foi implementado o projeto, contendo diversos aspetos importantes da implementação em si, descrevendo vários algoritmos utilizados, bem com representações gráficas de interfaces com o utilizador.

Segue-se o quinto capítulo referente aos Testes e Avaliação de Resultados, onde são apresentados ao leitor diversos testes realizados com o intuito de avaliar a solução final obtida.

O sexto capítulo, Conclusões, contém as principais conclusões obtidas com a realização do projeto, como também uma perspetiva de trabalho futuro.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo serão abordados aspetos relevantes relacionados com a simulação, bem como os modelos de dados mais importantes e presentes na elaboração do projeto.

2.1. Simulação

A simulação em termos computacionais, consiste em aplicar métodos, técnicas, formalizações em computadores com o objetivo de imitar ou tornar o mais real possível um processo do mundo real, possibilitando assim, o estudo do comportamento de modelos reais através do ato de simular.

No caso da simulação de tráfego que será a que terá maior relevância para o trabalho em causa, esta tem um forte impacto a nível social e económico nos dias de hoje.

A simulação de tráfego tornou-se um aspeto fundamental no planeamento e gestão de redes rodoviárias, proporcionando uma otimização da circulação rodoviária, redução do número de acidentes, obtenção de uma imagem o mais aproximado da realidade, possibilidade de previsão quanto à intensidade de tráfego, como se torna também extremamente importante na tomada de decisões, designadamente:

- Localização e sincronização de semáforos luminosos;
- Alteração do sentido das vias rodoviárias;
- Interrupções temporárias de vias.

Assim, a simulação torna-se uma ferramenta fundamental, pois possibilita a oportunidade de simular um ambiente em vez de ter que aplicar determinadas medidas e decisões em ambientes reais. Com a simulação será possível, por exemplo, apenas com um simples “clique” adicionar/remover um semáforo, efetuar uma mudança do sentido de uma via de rodagem, alterar um cruzamento, e assim testar os impactos positivos/negativos que tal alteração na rede provocaria.

Contudo, para que a modelação se torne o mais real possível representando da melhor forma a realidade, será muito importante a construção do modelo e a sua viabilidade.

2.2. Aplicações de Simulação

Embora o enfoque da simulação neste projeto recaia sobre simuladores a nível de tráfego, a simulação é hoje aplicada em diversos meios, setores como se pode verificar na Tabela 1 [TSN09].

Tabela 1 - Exemplos do uso de simulação

Sector	Uso de simulação
Manufatura	<ul style="list-style-type: none">• Sistemas de localização de materiais• Representação de operações
Cinema	<ul style="list-style-type: none">• Cenários imaginários• Efeitos audiovisuais
Saúde	<ul style="list-style-type: none">• Gestão dos recursos
Tráfego	<ul style="list-style-type: none">• Transportes públicos• Simulação de tráfego
Construção Civil	<ul style="list-style-type: none">• Processos de montagens de pontes• Viabilidade de edifícios• Segurança de edifícios
Investigações	<ul style="list-style-type: none">• Criação de cenários de crimes

2.3. Modelação

A construção do modelo que irá representar a rede viária será um passo essencial para se obter uma simulação o mais aproximado da realidade. Será sobre esta temática que irá recair o cerne do projeto. Normalmente esta tarefa é constituída por quatro fases [TV03]:

- Codificação do Modelo;
- Calibração do Modelo;
- Validação do Modelo;
- Aplicação do Modelo.

O procedimento para tal modelação será o seguinte (Figura 1):

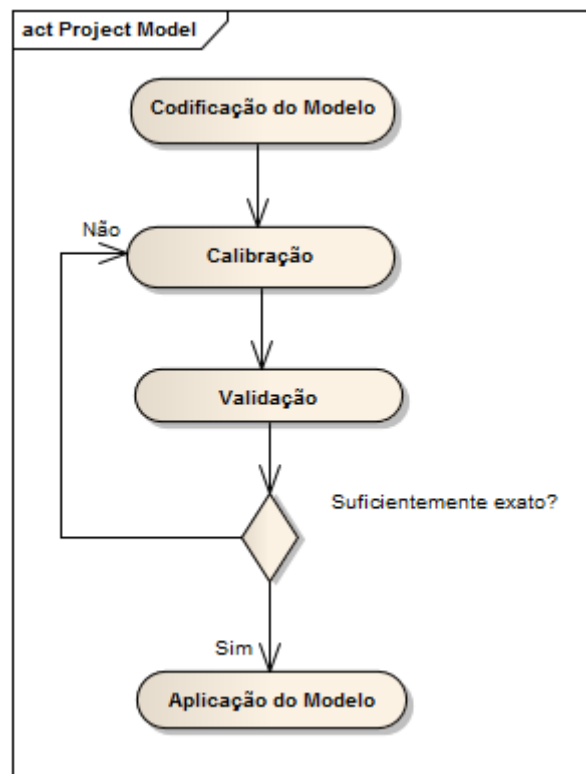


Figura 1 - Processo de modelação de uma rede

2.3.1. Codificação do Modelo

A primeira fase, referente à Codificação do Modelo pode caracterizar-se por uma exaustiva recolha de dados sobre uma determinada rede. Existência das ruas, ligações de cada rua, cruzamentos de uma via, entre outros. Recolhidos esses dados, será necessário codificar toda essa informação, de forma a ser interpretado pelo modelo de simulação.

Nesta fase, é tido em conta o tratamento de erros graves que poderiam numa fase posterior adulterar a simulação [VC08].

2.3.2. Calibração

A segunda fase, Calibração do Modelo, consiste num processo de correção de variáveis do modelo para uma representação da rede o mais real possível. A calibração torna-se a fase que envolve mais recursos na construção de um modelo [VC08].

A calibração poderá incidir sobre variáveis globais que irão influenciar o comportamento de todos os veículos da rede, sobre variáveis locais que irão influenciar o comportamento dos veículos que circulam apenas numa certa via, ou ainda modificar variáveis particulares de um determinado tipo de veículos.

A Tabela 2 que se segue, demonstra algumas variáveis que poderão sofrer métodos de calibração para uma melhor representação da rede.

Tabela 2 - Variáveis que podem sofrer métodos de calibração

Variáveis globais	Variáveis Locais	Variáveis Particulares do Veículo
Tempo de reação de um veículo	Velocidade máxima/mínima	Velocidade máxima
Tempo de reação quando um veículo se encontra parado	Velocidade de viragem	Aceleração/Desaceleração máxima
Velocidade de saída de uma fila de espera	Distância das zonas de mudança de via	Comprimento do veículo
Parâmetros relacionados com mudança de via	Distância da visibilidade	Distância mínima entre veículos

2.3.3. Validação

A fase de Validação consiste no processo que é usado para determinar até que ponto o modelo representa com um bom nível de precisão e exatidão a realidade da rede rodoviária [VC08]. Este processo consiste em validar ou não a calibração realizada na etapa anterior.

De destacar que os processos de Calibração/Validação terão um comportamento iterativo, estando relacionados um com o outro, como já foi possível observar na Figura 1.

A Validação do Modelo poderá ser abordada a nível conceptual e nível operacional. A Validação a nível conceptual está relacionada com a aplicação de conceitos teóricos sobre o modelo de dados, enquanto a Validação a nível operacional consiste na comparação direta do modelo obtido com a própria realidade.

2.3.4. Aplicação do Modelo

A aplicação do modelo corresponde à última fase na Modelação. Aqui trata-se de aplicar o modelo obtido, para se obter uma simulação final, tornando possível medir o desempenho da rede consoante a existência de diversos cenários [VC08].

2.4. Tipos de Modelos de Simulação

Os Modelos de Simulação poderão ser considerados segundo diversos níveis. Neste subcapítulo serão abordados esses diferentes níveis, nomeadamente caracterização a nível de detalhe, nível temporal e representação do processo.

2.4.1. Nível de Detalhe

A nível de detalhe os simuladores poderão ser caracterizados segundo quatro categorias, nomeadamente: Macroscópicos, Mesoscópicos, Microscópicos e Sub-Microscópicos [VC08]. Estes diferem no nível de detalhe com o qual representam uma simulação.

Modelos Macroscópicos

Os Modelos Macroscópicos começaram a ser utilizados nos finais dos anos 60, princípios dos anos 70. Estes modelos apresentam um nível de detalhe mais baixo. Caracterizam-se por descreverem o tráfego com pouco nível de detalhe uma vez que, consideram um elevado nível de agregação de dados. Nestes modelos, todos os veículos são considerados da mesma forma e, mudanças de níveis de veículos não são considerados, pelo que se poderá afirmar que são menos realistas, e incapazes de preverem variáveis a nível do veículo face a, não existir distinção das entidades envolventes [TSN09]. Estes modelos para caracterizarem a rede utilizam variáveis macroscópicas como a concentração, débito, densidade, velocidades médias, taxas de ocupação da via [VC08].

Os modelos Macroscópicos são muitas vezes uma opção a ter em conta, visto que são os que, relativamente requerem menor esforço quer em termos de construção quer em termos computacionais. Contudo, fica a desvantagem de não fornecerem uma modelação com grande nível de detalhe, visto não proporcionarem a interação entre veículos que estejam presentes na rede [VA04].

Como exemplos de simuladores de tráfego macroscópicos, poderá ser referenciado o simulador SATURN [AP06].

Modelos Mesoscópicos

Os modelos Mesoscópicos apresentam um nível de detalhe considerado razoável, apresentando-se como uma alternativa que se caracteriza por um detalhe intermédio entre os modelos Macroscópicos e Microscópicos [TSN09]. Neste tipo de simulação não há a distinção do comportamento individual dos veículos que circulam na via, sendo que o comportamento dos veículos é sim determinado através da probabilidade para certas condutas [ADCH04]. Neste caso existe já um tipo de interação entre “grupos” de veículos que circulam na rede. Contudo, é ainda uma interação que envolve um nível de detalhe um pouco limitador e insuficiente para a modelação da rede [VC08]. Nos modelos Mesoscópicos a representação dos veículos é realizada através de pelotões que serão formados por grupos constituídos por um número baixo de veículos [VA04]. Como exemplos de simuladores Mesoscópicos poderão ser referidos: DynaMIT, DYNASMART, CONTRAM, DYNAMEQ, MATSIM, Mezzo [BW].

Modelos Microscópicos

Os modelos Microscópicos apresentam um bom nível de detalhe, com uma caracterização a nível espacial e temporal da rede [VC08]. Têm em consideração o comportamento dos condutores bem como as características individuais dos veículos, tais como uma representação individual do veículo, tempo de paragem, distância entres veículos, seguimento do veículo da frente [FJ08]. O seguimento do veículo da frente poderá seguir um dos seguintes modelos [VC08]:

- Modelo da distância segura – parte do princípio que os veículos respeitam sempre a distância mínima para o veículo da frente, tendo em conta a velocidade a que estes circulam;
- Modelo de estímulo-resposta – modelo cujo comportamento do veículo será dependente de movimento dos veículos que circulam à sua frente e atrás de si;
- Modelo do espaço – modelo que tem em consideração possíveis limitações que possam ocorrer na perceção de um estímulo, dependendo assim da distância entre veículos;

Neste tipo de modelos existe uma interação entres as entidades de uma rede com um ótimo nível de detalhe. Assim, este tipo de modelação proporciona uma representação muito realista [FJ08]. Contudo, tem a desvantagem de ser necessário analisar e executar grandes quantidades de dados, aumentando consideravelmente o tempo de codificação do modelo. Como exemplos de simuladores microscópicos de tráfego poder-se-á destacar: PARAMICS, AIMSUN, DRACULA, SUMO, DIVERT.

Modelos Sub-Microscópicos

Por último, os simuladores Sub-Microscópicos caracterizam-se por terem um ótimo nível de detalhe. Têm um comportamento bastante semelhante aos simuladores microscópicos, adicionando ainda uma modelação mais realista, caracterizando diversos comportamentos sensoriais do condutor do veículo [VC08]. Como exemplo de um simulador que se insira neste grupo destaco USARSim. Contudo, a simulação mais utilizada nos dias de hoje é a simulação através de Modelos Microscópicos, pois obtém-se já resultados muito satisfatórios.

Com o intuito de tornar mais perceptível os diferentes modelos descritos anteriormente, segue-se a Tabela 3 contendo um breve resumo dos modelos.

Tabela 3 - Tipos de Modelos segundo o nível de detalhe e suas características

Tipo de Modelo	Caraterísticas
Macroscópicos	<ul style="list-style-type: none">• Baixo nível de detalhe• Tratamento único para todos os veículos• Menos realistas• Caraterização da rede através da concentração, débito, densidade, velocidades médias, taxas de ocupação da via
Mesóscópicos	<ul style="list-style-type: none">• Nível intermédio de detalhe• Abordagem mista dos Modelos Macroscópicos e Microscópicos• Não há distinção do comportamento individual dos veículos• Comportamento dos veículos determinado através de probabilidades• Interação limitada entre os veículos• Representação de veículos recorrendo a pelotões
Microscópicos	<ul style="list-style-type: none">• Bom nível de detalhe• Consideração do comportamento dos veículos• Consideração das características individuais dos veículos• Interação entre as entidades da rede• Representação realista
Sub-Microscópicos	<ul style="list-style-type: none">• Excelente nível de detalhe• Superior ao detalhe dos Modelos Microscópicos• Modelo mais realista possível• Consideração de comportamentos do condutor do veículo e sensoriais do veículo

2.4.2. Nível Temporal

A nível temporal, os modelos poderão ser classificados de modelos Estáticos e Dinâmicos. Os Modelos Estáticos caracterizam-se por obterem um comportamento constante ao longo do tempo, e, variáveis como a procura mantêm-se constantes durante todo o tempo da simulação [VC08].

Por outro lado, existem também Modelos Dinâmicos, em que as variáveis sofrem alterações ao longo do tempo de simulação [VC08]. Estes poderão ainda ser divididos em dois grupos, sendo eles nomeadamente:

- Modelos Contínuos – as mudanças no modelo acontecem de uma forma contínua no tempo. Essas mudanças poderão incidir sobre parâmetros como a velocidade, posição do veículo, entre outros;
- Modelos Discretos – as mudanças nos modelos acontecem de uma forma descontínua no tempo, em certos intervalos de tempo, não considerando alterações contínuas como os modelos referidos anteriormente.

2.4.3. Nível de Representação do Processo

O modelo quanto à representação do comportamento dos veículos poderá ser classificado em dois subgrupos, sendo eles nomeadamente: Modelos Determinísticos e Modelos Estocásticos [VC08].

Os Modelos Determinísticos caracterizam-se por utilizarem um comportamento semelhante para todas as entidades participantes [VC08].

Por outro lado, os Modelos Estocásticos apresentam um comportamento não determinístico, ou seja, utilizam uma natureza ocasional para fazer variar determinadas variáveis do modelo [VC08].

2.5. Simuladores SUMO e DIVERT

2.5.1. SUMO

O SUMO é um simulador microscópico, concebido “para suportar redes viárias de grande porte” [SSPP]. Este simulador é *open source*, e é “principalmente desenvolvido por funcionários do Centro Aeroespacial Alemão” [SSPP].

Este tipo de simulador caracteriza-se por ter um ótimo nível de detalhe, tem em consideração o comportamento dos condutores, apresenta características distintas para todos os veículos da via, considerando também a interação entre as entidades de uma rede. [MLJD]

Para caracterizarmos uma rede, deveremos ter em conta diversos aspetos, nomeadamente [SUS2]:

- *Nodes*
- *Edges*
- *Routes*
- *Connections*

Nodes

Os *Nodes* referem-se à caracterização em termos de posição de um nó, ou seja o início ou fim de um segmento de via. Para representar assim um *Node*, será necessário caracterizar os seguintes atributos [SUS] representados na Tabela 4:

Tabela 4 - Caracterização de *Nodes* segundo o simulador SUMO

Atributo	Tipo de atributo	Descrição
<i>id</i>	<i>string</i>	Identidade do <i>Node</i>
<i>x</i>	<i>float</i>	Posição x do <i>Node</i> em metros
<i>y</i>	<i>float</i>	Posição y do <i>Node</i> em metros
<i>type</i>	"priority", "traffic_light", "right_before_left", "unregulated"	Tipo de <i>Node</i>

Edges

As *Edges* (arestas) correspondem aos segmentos de via, as quais são caracterizadas por dois *Nodes*, correspondendo assim a um segmento de reta entre dois pontos.

As *Edges* poderão ser caracterizadas no simulador SUMO através dos seguintes atributos representados na Tabela 5 [SUS]:

Tabela 5 - Caracterização de *Edges* segundo o simulador SUMO

Atributo	Tipo de atributo	Descrição
<i>id</i>	<i>string</i>	Identidade da <i>Edge</i>
<i>from</i>	Identidade do <i>Node</i>	Identidade do nó onde começa a <i>Edge</i>
<i>to</i>	Identidade do <i>Node</i> 2	Identidade do nó onde termina a <i>Edge</i>
<i>type</i>	Referente ao tipo	Tipo de <i>Edge</i>
<i>numLanes</i>	<i>int</i>	Número de linhas que compõem a <i>Edge</i>
<i>speed</i>	<i>int</i>	Velocidade máxima permitida na <i>Edge</i> em metros/segundo

<i>priority</i>	<i>int</i>	Tipo de prioridade da <i>Edge</i>
<i>length</i>	<i>float</i>	Comprimento da <i>Edge</i>
<i>shape</i>	lista de posições	Forma da <i>Edge</i>
<i>spreadType</i>	<i>enum(right, center)</i>	Descrições da forma como são implementadas as linhas da <i>Edge</i>
<i>allow</i>	lista de veículos	Lista de veículos permitidos a circular na <i>Edge</i>
<i>disallow</i>	lista de veículos	Lista de veículos impedidos a circular na <i>Edge</i>

Routes

Na simulação recorrendo ao simulador SUMO é também possível construir *Routes* (rotas), ou seja definir um conjunto de segmentos que formarão uma rota.

Poderá ser definido através dos seguintes atributos evidenciados na Tabela 6 [SUS].

Tabela 6 - Caracterização de *Routes* segundo o simulador SUMO

Atributo	Tipo de atributo	Descrição
<i>id</i>	<i>string</i>	Identidade da <i>Route</i>
<i>edges</i>	<i>list Edges</i>	Lista das <i>Edges</i> que formam a <i>Route</i>
<i>flow</i>	lista de atributos	Tipo de afluência da <i>Route</i>
<i>typedistribution</i>	lista de atributos	Tipo de distribuição da <i>Route</i>
<i>vehicle</i>	lista de atributos	Caraterização dos veículos permitidos na <i>Route</i>

Connections

As *connections* dizem respeito às conexões existentes dentro de uma rede, ou seja, os centróides que representam as Origens/Destinos dos veículos. Na simulação usando o SUMO as conexões poderão ser definidas recorrendo aos seguintes parâmetros [SUS] representados na Tabela 7:

Tabela 7 - Caracterização de *Connections* segundo o simulador SUMO

Atributo	Tipo de atributo	Descrição
<i>from</i>	Identificador da <i>Edge</i>	Identificador da <i>Edge</i> de partida de um veículo
<i>to</i>	Identificador da <i>Edge</i>	Identificador da <i>Edge</i> de chegada de um veículo

O simulador SUMO é assim uma ferramenta muito útil, possibilitando a simulação de tráfego através de diversos atributos, modelando de uma forma “quase perfeita” a realidade. A interface da aplicação é bastante simples e fácil de manusear, tornando-se muito atrativa para o utilizador.

Seguem-se algumas imagens relativas à interface do simulador SUMO (Figura 2, Figura 3):

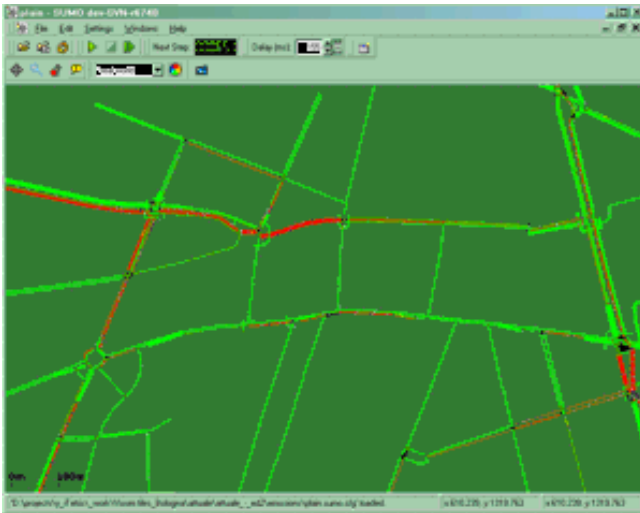


Figura 3 - Interface de uma rede utilizando o simulador SUMO (Exemplo 1)

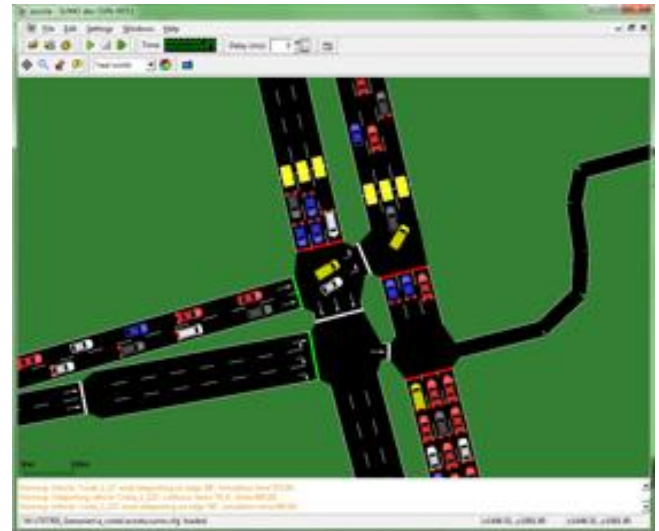


Figura 2 - Interface de uma rede utilizando o simulador SUMO (Exemplo 2)

2.5.2. DIVERT

O projeto DIVERT (Development of Inter-VEhicular Reliable Telematics) começou a ser desenvolvido por um grupo denominado MYDDAS. Este projeto foi implementado no Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência de Computadores (LIACC) [DPP], e tem como objetivo principal caracterizar “o comportamento na cidade do Porto, através da análise de traços de GPS em tempo real” [DPP].

O projeto DIVERT apresenta uma decomposição nos seguintes módulos:

- Simulador de Tráfego;
- Simulador da Rede;
- Visualização;
- Aplicação de componentes.

Segue-se a Figura 4 com uma interface do simulador DIVERT [DI]:

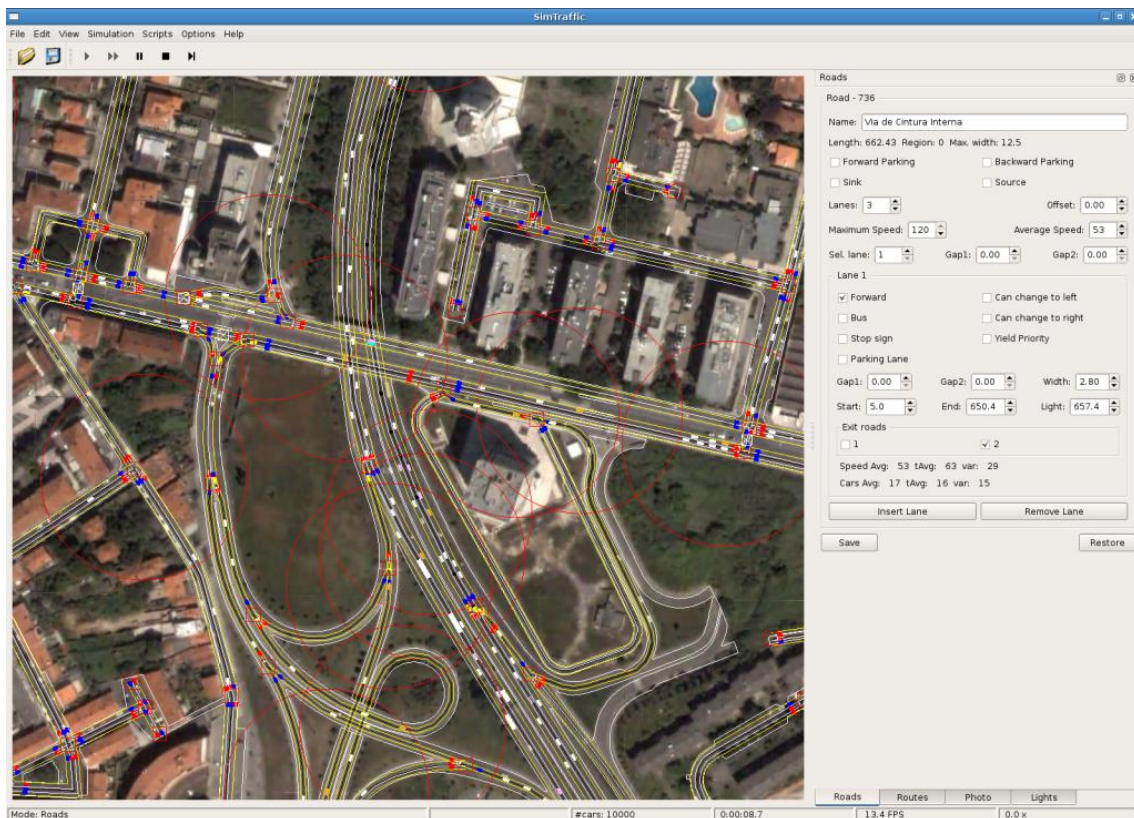


Figura 4 - Interface de uma rede utilizando o simulador DIVERT

2.6. Aspectos importantes de simulação

Na simulação, nomeadamente na simulação microscópica, com o intuito de se obter uma simulação o mais aproximada da realidade, há o cálculo da posição, velocidade, aceleração, desaceleração dos veículos a cada momento [VC08]. Assim, teremos que apreender diversos conceitos, para que seja possível obter uma imagem clara sobre o modelo de funcionamento da simulação microscópica. Seguem-se diversos conceitos bastantes importantes em processos de simulação.

2.6.1. Modelo de Geração de Veículos

O modelo de geração de veículos é responsável pela existência de veículos numa rede. Este modelo gera veículos segundo a Fórmula 1 que se segue [LS05]:

$$(1) \quad t_{n+1} = t_n - \frac{\ln(rn)}{\lambda} \quad \lambda > 0,0$$
$$0,0 < rn \leq 1$$

Onde:

t_{n+1} - Tempo de partida do veículo seguinte

t_n - Tempo de partida do presente veículo

rn - Número aleatório entre 0 e 1

λ - Taxa de partida

De destacar que esta não será a única lei para gerar veículos. Será também de igual importância o conhecimento do número de veículos que se entram numa determinada rede num certo período de tempo, através da definição da matriz Origem-Destino dos novos veículos [MC07].

2.6.2. Modelo de Rede

Os modelos caracterizam a sua rede através de três estruturas principais. Para a caracterização da rede são utilizados nós, links, e pistas [LS05].

Os nós caracterizam-se por um ponto da rede onde há a interceção de diversas ruas, como também pontos da via onde há a mudança das suas características geométricas. De referir que um nó poderá também ser caracterizado por um centróide, que são pontos pelos quais há a entrada de veículos para a rede, funcionando como pontos geração/atração de viagens [CC].

Os *links* de uma rede caracterizam-se por ruas direcionais de uma rede de tráfego.

Por último existem também as pistas, que representam o número de vias que cada *link* possui.

Com o objetivo de tornar mais perceptível um modelo de rede, segue-se a Figura 5, identificando cada uma das estruturas descritas anteriormente.

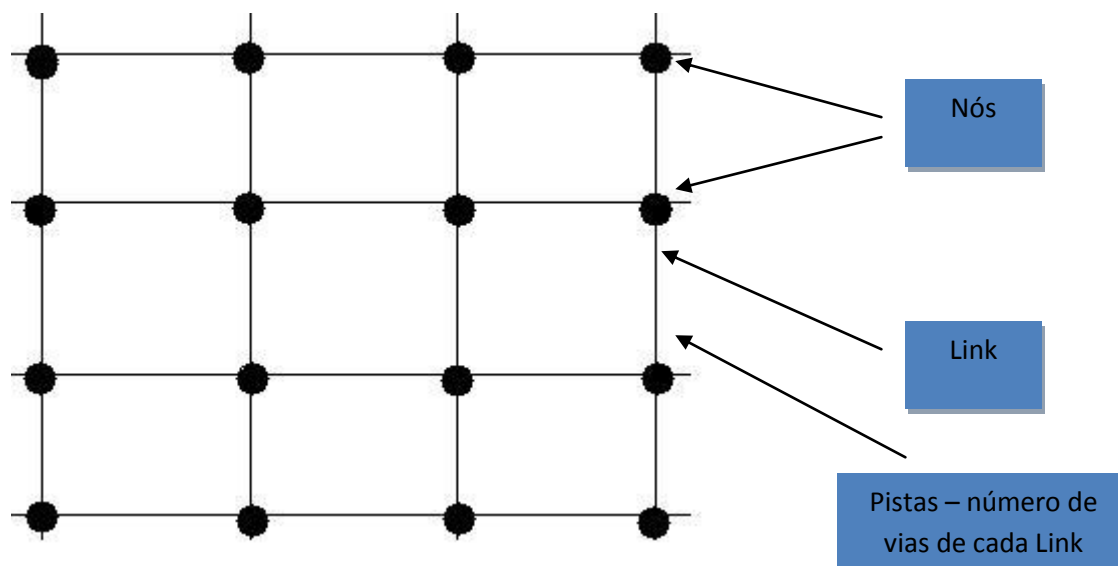


Figura 5 - Representação do modelo de rede

2.6.3. Modelo de Regulação de Tráfego

Num modelo de simulação de tráfego será necessário identificar regras de trânsito para cada via da rede. Assim, as regras poderão ser do tipo de velocidade máxima/mínima permitida, possíveis ultrapassagens, quais os tipos de veículos permitidos a circular nessa via entre outras diversas regras [LS05].

2.6.4. Modelo de Sinal de Controle

Um modelo terá que obedecer a regras relacionadas com sinais luminosos, assim terão que ser definidos os tempos relacionados com os semáforos [LS05], e ainda regras rodoviárias como sinalização de STOP, cedência de prioridades como também a regra da direita (no caso de ausência de sinalização, o veículo que se apresenta pela direita tem prioridade sobre os veículos que se apresentam pela sua esquerda).

No caso dos sinais luminosos, terá que ser determinado o tempo que um semáforo permanece no estado de sinal vermelho até passar ao estado verde, como também o tempo que permanece com o sinal verde até passar ao estado amarelo, e ainda o tempo que decorre desde que o semáforo entra no estado amarelo até ficar vermelho [LS05].

2.6.5. Modelo de Ação do Veículo

O modelo de ação do veículo diz respeito ao seu comportamento dentro da rede, e este é bastante influenciado por “Car-Following-Model” e Modelo de Mudança de Via [LS05].

2.6.5.1. Car-Following-Model

Este modelo descreve o comportamento de um veículo tendo em consideração o veículo que se encontra à sua frente. Neste modelo há a definição de uma distância de segurança entre os dois veículos que deverá ser sempre respeitada.

Assim, um veículo poderá deparar-se com três situações num dado momento:

1. **Estado de condução livre** – A distância do veículo para o veículo que circula imediatamente à sua frente é suficientemente grande. Aqui o condutor poderá manter a velocidade a que circula, mas sempre respeitando o limite máximo permitido para a via em causa.

Esta situação encontra-se representada na Figura 6:



Figura 6 - Representação do estado de condução livre

2. **Estado de emergência** - a distância do condutor de um veículo para o seu seguinte é menor do que a distância mínima de segurança definida. Aqui o condutor deverá ter uma atitude de precaução, reduzindo a sua velocidade com o intuito de evitar possíveis acidentes. A representação desta situação encontra-se na Figura 7:



Figura 7 - Representação do estado de emergência

3. **Estado do veículo seguinte** – esta situação ocorre quando a distância entre o veículo e o veículo que circula à sua frente corresponde à distância mínima de segurança. Neste caso o comportamento do veículo terá em conta o comportamento do veículo seguinte, estando de acordo com este.

Poderá ser observado de uma forma mais visual esta situação na Figura 8:



Figura 8 - Representação do estado do veículo seguinte

2.6.5.2. Modelo de Mudança de Via

Quando um veículo circula em faixas com mais que uma via, este poderá mudar para outra para ultrapassagens, seguindo para isso o Modelo de Mudança de Via. Para tal, o Modelo de Mudança de Via tem em consideração a lacuna existente, determinada pela distância para a parte frontal e traseira do veículo [FJ08]. Este só irá realmente mudar de via se as distâncias forem superiores aos valores mínimos estipulados [LS05].

De seguida estão ilustradas as duas possibilidades, quanto à mudança ou não de via (Figura 9, Figura 10):



Figura 9 - Lacuna insuficiente para a mudança de via

No caso da Figura 9, a lacuna existente para a parte frontal e parte traseira do veículo é inferior à lacuna mínima aceitável para que se possa mudar de via. Assim, o veículo não irá mudar para a via da esquerda neste preciso momento.

Por outro lado, se a lacuna existente é superior à lacuna mínima o condutor poderá proceder imediatamente à mudança de via (Figura 10).



Figura 10 - Lacuna suficiente para mudança de via

2.6.6. Modelo de Escolha de Rota

A escolha da rota de um veículo será determinada pela obtenção do caminho com a distância mínima entre dois pontos, utilizando para tal uma função de custo entre ligações, geralmente implementada pelo algoritmo de Dijkstra. A escolha da rota poderá ser efetuada e determinada no momento de partida de um veículo para um percurso, ou por outro lado poderá ser definida/alterada a meio de uma viagem, tendo em consideração características como comprimento das vias, médias, condições do tempo, interrupções momentâneas de vias, sendo uma abordagem muito mais útil e realista [LS05].

2.6.6.1. Algoritmo de Dijkstra

O algoritmo de Dijkstra foi implementado e posteriormente publicado em 1959 pelo cientista Edsger Dijkstra [BIODI] para a determinação de caminhos mais curtos de grafos dirigidos/não dirigidos em que as arestas possuem um peso correspondendo à distância entre nós conectados, como se poderá observar na Figura 11:

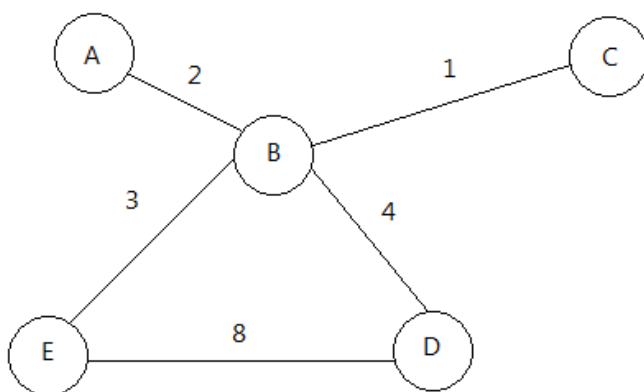


Figura 11 - Grafo não dirigido

O algoritmo de Dijkstra caracteriza-se por [IOP]:

- Ser um dos algoritmos mais eficientes na determinação do caminho mais curto entre dois pontos;
- Examina cada nó apenas uma vez;
- Cada nó tem etiquetas que poderão ser definitivas ou temporárias;
- As etiquetas definitivas correspondem a nós já analisadas contendo já as distâncias mínimas;
- As etiquetas temporárias não contêm valores definitivos com as distâncias mínimas, podendo ainda ser alteradas;
- Em cada iteração, o algoritmo transformará uma etiqueta temporária em definitiva com a respetiva distância mínima.

2.7. Modelo de Dados

Durante a fase de investigação foram estudados diversos modelos de dados que serão relevantes para a implementação do projeto. Este modelo de dados poderá ser considerado um sistema de informação geográfica (GIS ou SIG) visto que guarda informação sobre objetos espaciais/geográficos [ABMDSA08]. Neste capítulo há a referência aos modelos de dados estudados, com uma breve descrição dos mesmos.

2.7.1. OpenStreetMap

O OpenStreetMap é um projeto colaborativo, do tipo *wiki*, que fornece o mapeamento de dados geográficos das principais cidades do mundo, facilitando a aquisição de dados geográficos. Este projeto permite a obtenção de mapas para diferentes finalidades [GMDC09].

O modelo de dados do OpenStreetMap possui apenas 3 primitivas, nomeadamente *Nodes* (Nós), *Ways* (Caminhos), *Relations* (Relações) [WOSMAP].

2.7.1.1. Nodes

Os *Nodes* também designados por nós representam além das intersecções, “pontos de interesse”, tais como sinais de trânsito, restaurantes, museus, cinemas, bombas de gasolina, centros comerciais etc. Estes nós poderão estar ligados formando assim caminhos (*Ways*).

Cada *Node* é identificado pela Fórmula 2 [GMDC09]:

$$(2) \quad n = (id, lat, long, t)$$

Onde:

id – identificador do nó

lat – latitude do nó com precisão ao centímetro

long – longitude do nó com precisão ao centímetro

t – tags relacionadas com o nó. Constituída pelo par (*key, valor*), observando
– se que cada nó poderá conter várias tags

2.7.1.2. Ways (Caminhos)

Os caminhos representam uma lista ordenada de nós (*Nodes*). Estes serão utilizados para representar ruas, estradas, rios, linhas do comboio, jardins etc.

Cada caminho é identificado pela Fórmula 3 [GMDC09]:

$$(3) \quad w = (id, l, N, T)$$

Onde:

id – identificador do caminho

l – camada do caminho. Utilizada para modelar diferentes alturas (pontes, túneis)

N – Conjunto de nós que compõem o caminho

T – Utilizado para definir a semântica do caminho

2.7.1.3. *Relations* (Relações)

As *Relations* são utilizadas para modelar outras estruturas geográficas, através do uso de diversas primitivas.

Existem cerca de 626 *Tags* utilizadas para caracterizar os nós, e consequentemente modelar uma rede. Seguem-se alguns exemplos de *Tags* disponíveis (Tabela 8) [GMDC09]:

Tabela 8 - Exemplo de Tags no modelo OpenStreetMap

Descrição	Tag	Valor
Estradas com ligação a uma autoestrada	<i>highway</i>	<i>motorway_link</i>
Estradas com acesso a áreas residenciais	<i>highway</i>	<i>residential</i>
Ciclovia	<i>highway</i>	<i>cycleway</i>
Caminho para pedestres	<i>highway</i>	<i>living_street</i>
Rua com sentido único	<i>oneway</i>	<i>yes/no/-1</i>
Largura da rua em metros	<i>width</i>	<i>number</i> (metros)
Número de vias	<i>lanes</i>	<i>number</i>
Velocidade máxima na via	<i>maxspeed</i>	<i>number</i> (metros/segundo)
Altura máxima permitida na estrada	<i>maxheight</i>	<i>number</i> (metros)
Largura máxima permitida na estrada	<i>maxwidth</i>	<i>number</i> (metros)

2.7.2. Tele Atlas

O Tele Atlas Multinet fornece uma base de dados bastante complexa, completa e íntegra, contendo informação muito útil que poderá ser utilizada diretamente nos sistemas de informação geográficos [TANAC05]. O Tele Atlas é utilizado como *software* nos sistemas de navegação pessoais, fornecendo as seguintes vantagens:

- Proporciona uma vasta área de cobertura;
- Excelente nível de integridade de dados;
- Alta precisão dos dados;
- Dados sempre atuais;
- Utilização de uma geocodificação ideal no planeamento de rotas entre dois pontos.

A base de dados contém 13 entidades diferentes no seu modelo de dados, das quais será importante destacar [TANAC05]:

- **Rua e Estrada de uma Rede:**
 - A geometria da rede inclui os seguintes atributos:
 - Atributos principais: classe da estrada, classificação da rede, nome, nome alternativo, número da rota, comprimento, estado de processamento;

- Atributos de tráfego: forma da via, condições da estrada, estado de construção da via, autoestrada, passagens bloqueadas, restrições ocasionais, manobras (bifurcações, permissões, restrições, proibições), intersecções;
- Atributos de geocoding: nome principal e alternativo das estradas, lado da via que se circula, código postal, números e identificadores dos endereços, código das ruas.
- **Conexões:**
 - As conexões representam as ligações de ruas. Cada conexão terá associado o nome principal e alternativo, direção do fluxo rodoviário, forma da via, classe da estrada, classificação da rede, período de abertura, número de vias, tipo de veículos permitidos.
- **Área de fronteira de um endereço:**
 - Definição dos pontos onde uma rua começa e termina.
- **Caminho-de-ferro:**
 - Caracterizados pelos parâmetros: início e fim do caminho-de-ferro, tipo de caminho, nome principal.
- **Pontos de interesse:**
 - Utilizados para identificar pontos de interesse de um mapa. Têm como atributos:
 - Nome, nome da rua, número da casa, município, número de telefone, fax, endereço de correio eletrónico, site, serviços proporcionados.
- **Estruturas**
 - Pontes e Túneis

O Tele Atlas Multinet guarda assim os seus dados em 13 entidades [TANAC05]. Sendo que cada uma dessas entidades poderá ser caracterizada por:

- Uma ou várias formas geométricas, contendo os principais atributos dessa entidade;
- Atributos adicionais estendidos – contêm atributos adicionais que não estavam disponíveis quando foi criada a base de dados. Esses dados serão automaticamente carregados quando as tabelas forem atualizadas;
- Tabelas de relações – estabelecimento de relações entre recursos;

2.7.3. Google Maps

O Google Maps proporciona um serviço de geoprocessamento, destaca-se como sendo uma tecnologia de alta qualidade e bastante poderosa no mapeamento [APIGM].

O Google Maps é utilizado para possíveis pesquisas e consequentemente visualização de mapas e imagens satélites de grande parte do mundo.

De seguida, será apresentada uma breve introdução da API Google Maps, ou seja, a interface de desenvolvimento que usa como linguagem de programação JavaScript [APIGM].

Controles:

- Fixos:
 - *GLargeMapControl* – controle utilizado para ter um aumento panorâmico do mapa em questão;
 - *GSmallMapControl* - controle utilizado para ter uma diminuição panorâmica do mapa em questão;
 - *GSmallZoomControl* – *zoom* pequeno. Normalmente utilizado no estabelecimento de rotas;
 - *GScaleControl* – escala do mapa;
 - *GMapTypeControl* – alterar o tipo de mapa (Mapa, Satélite);
 - *GHierarchicalMapTypeControl* – seleção de botões segundo uma hierarquia e itens de menu;
 - *GOverviewMapControl* – mapa de visão geral.

- Movimento e Animação- API do Google Map apresenta diversas ações de movimento e animação, onde se destacam:
 - *setCenter()* – seleciona o mapa no centro identificado pelo utilizador;
 - *panTo()* – altera o ponto central do mapa para o ponto especificado, se estes forem próximos haverá um tipo de animação suave na deslocação;
 - *panDirection()* – realiza uma animação panorâmica com metade da largura no mapa na direção indicada;
 - *setZoom()* – definição do zoom no valor indicado;
 - *zoomIn()* – aumenta o nível de zoom uma unidade;
 - *zoomOut()* – diminuiu o nível de zoom uma unidade;
 - *savePosition()* – guarda a posição do mapa num momento e o nível de zoom;
 - *returnSavedPosisition()* – retorna a posição guardada.

- **Eventos**

Outra opção será a criação de eventos:

- *addListener()* – regista evento;
- *removeListener()* – remove evento.

- **Overlays**

As *Overlays* referem-se a objetos que não constam no mapa, podendo ser classificados em:

- Janelas de Informação;
- Marcadores;
- Polígonos;
- *Geocoder*;
- Rotas.

- Janelas de Informação

- Abrir janela simples:
 - *openInfoWindow()*;
 - *openInfoWindowHtml()*.
- Requisitar Janela
 - *getInfoWindow()*.
- Abrir janelas com guias
 - *openInfoWindowTabs()*;
 - *openInfoWindowTabsHtml()*.
- Janela focando Mapa
 - *showMapBlowup()* - Abre uma janela de informações no ponto especificado com uma visualização ampliada do mapa em redor do ponto especificado.

- Marcadores – Utilizados para marcar certas posições no mapa:

- *Gmarker()*- Cria marcador;

- Polilinhas e Polígonos

- Polilinhas são conjuntos de pontos ligados entre si por linhas:
 - *gPolylines* – cria uma polilinha de uma matriz de vértice, com opção de escolher cor, grossura e transparência.
- Polígonos – são polilinhas preenchidas:

- *gPolygon()* – Cria um polígono, com opção de escolher cor, grossura, transparência.
- *Geocoder* – Permite procurar um ponto através de um endereço através função:
 - *GClientGeocoder*.
- Rotas – Utilizado para a obtenção de percursos
 - *GDirections.load()* - Faz o *geocoder* (traça rota) entre 2 pontos;
 - Esta função tem em consideração:
 - Sentido das ruas;
 - Descobre sempre a melhor rota possível;
 - Opção de caracterizar as rotas através de texto;
 - Disponível em várias línguas.

3. Solução

O presente capítulo é dedicado à descrição pormenorizada de como foi abordado o projeto em causa na fase seguinte referente à Implementação. Aqui serão abordados cinco tópicos essenciais na busca da solução do projeto, que são:

Objetivos do projeto; Metodologia seguida; Modelo de dados usado; Técnicas de Inferência sobre dados GPS e Métodos de avaliação da solução.

3.1. Objetivos do Projeto

A implementação do projeto consiste assim, em aplicar métodos de inferência sobre logs GPS, tornando possível modelar uma rede da melhor forma possível e realista, executando de seguida computacionalmente a simulação da rede em questão. Com a aplicação de técnicas de inferência sobre logs GPS pretende-se que seja possível determinar os seguintes parâmetros:

- Sentido das vias;
- Velocidades:
 - Média;
 - Mínima;
 - Máxima;
- Movimentos Permitidos.

Conseguida a modelação da rede, pretende-se ter uma visualização gráfica da rede modelada e posteriormente gerar um ficheiro para que este possa ser carregado no simulador de tráfego SUMO.

3.2. Metodologia

Na implementação do projeto será seguida uma metodologia que pode ser dividida em 3 camadas distintas:

- Acesso a Dados – acesso a logs Gps;
- Lógica de Negócio – camada onde é realizada programaticamente a solução;
- Interface com o Utilizador – camada onde será apresentada o modelo gerado e a simulação ao utilizador.

O diagrama de arquitetura do projeto será o seguinte (Figura 12):

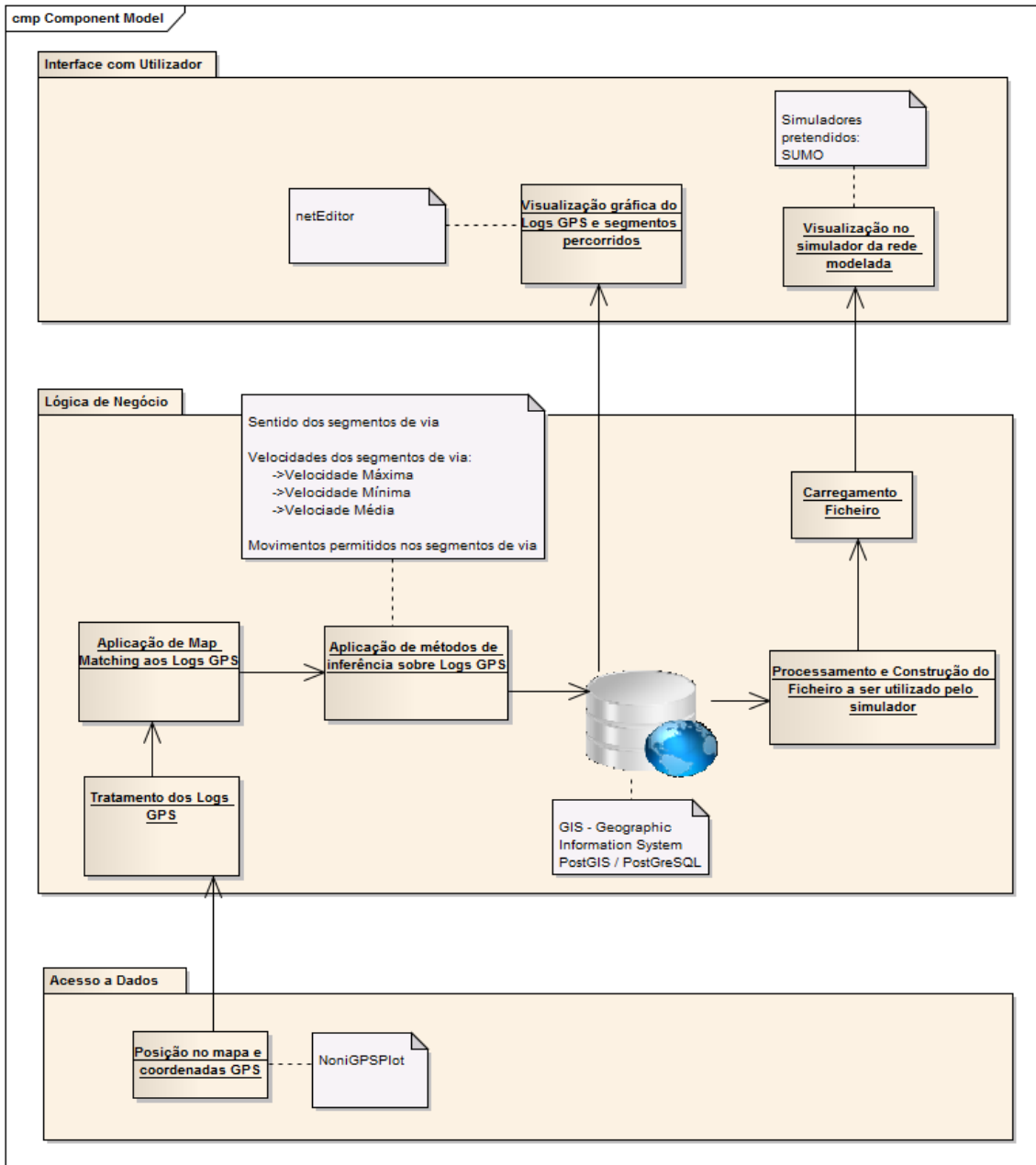


Figura 12 - Diagrama de Arquitetura do Projeto

Acesso a Dados

Na camada de acesso a dados, haverá o acesso a dados GPS recolhidos pela aplicação NoniGPSPlot durante percursos de um determinado veículo. Os Logs são atualizados com intervalos de tempo de 1 segundo.

Lógica de Negócio

Na camada Lógica de Negócio, estes dados inicialmente recolhidos terão que sofrer um pré-processamento e correção de dados, nomeadamente aplicando o método de *map matching* para fazer corresponder um veículo ao eixo de um segmento de via, visto que durante um percurso, um veículo não permanece sempre centrado numa via, como demonstra a Figura 13:



Figura 13 - Exemplo do posicionamento de um veículo numa via durante o seu percurso

Feito este Pré-Processamento de Dados serão aplicados métodos de inferência sobre os Logs GPS para que seja possível determinar os parâmetros anteriormente referidos em [Objetivos do Projeto](#). Estes dados serão então guardados numa base de dados (SIG – Sistema de Informação Geográfico).

Interface com o Utilizador

Completada a etapa anterior, haverá a representação gráfica dos Logs GPS e dos segmentos de via percorridos, dando ao utilizador uma visão geral do percurso realizado, tornando mais fácil o processo de validação do modelo de rede em causa. Por último será feito o processamento e construção do ficheiro a ser utilizado no simulador em questão (SUMO), havendo por fim o carregamento desse ficheiro no simulador e conseqüente visualização da simulação do modelo gerado.

3.3. Modelo de Dados

O projeto em causa terá um modelo de dados constituído por três classes principais, com relações entre elas:

- Nó – correspondente a um nó de uma rede rodoviária. Estes Nós poderão representar os pontos por onde o veículo passou durante o seu percurso, locais onde haja a intersecção de diversas vias, como também locais onde haja a mudança características geométricas da via. Os nós são caracterizados por:
 - id – identificador do nó;
 - latitude – latitude correspondente do nó;
 - longitude – longitude correspondente do nó;
 - altitude – altitude correspondente do nó;
 - tempo – tempo em segundos do registo do nó;
 - idSegmento – identidade do segmento a que pertence o nó;
 - idPercurso – identidade do percurso.
- Segmento – corresponde a um trecho da via, uma rua, que será constituído por dois ou mais nós. Os segmentos possuem os seguintes atributos:
 - id – identificador do segmento de via;
 - latitude_inicio – latitude correspondente ao início do segmento de via;
 - longitude_inicio – longitude correspondente ao início do segmento de via;
 - latitude_fim – latitude correspondente ao fim do segmento de via;
 - longitude_fim – longitude correspondente ao fim do segmento de via;
 - int_sentido – sentido do segmento de via do tipo inteiro;
 - string_sentido – sentido do segmento de via do tipo *string*;
 - velocidade_média - velocidade média registada no segmento de via;
 - velocidade_máxima – velocidade máxima registada no segmento de via;
 - velocidade_mínima - velocidade mínima registada no segmento de via;
 - movimentos_permitidos – movimentos permitidos no segmento de via;
 - comprimento – comprimento do segmento de via.
- Veículos – classe correspondente aos veículos que circulam nos segmentos, estes são caracterizados por:
 - id – identificador do veículo;
 - tipo – tipo de veículo: Veículos Ligeiros, Veículos Pesados e Motos.

Segue-se representado na Figura 14, o diagrama do modelo de dados acima referido, que foi realizado tendo em conta a consulta em [PUMML]:

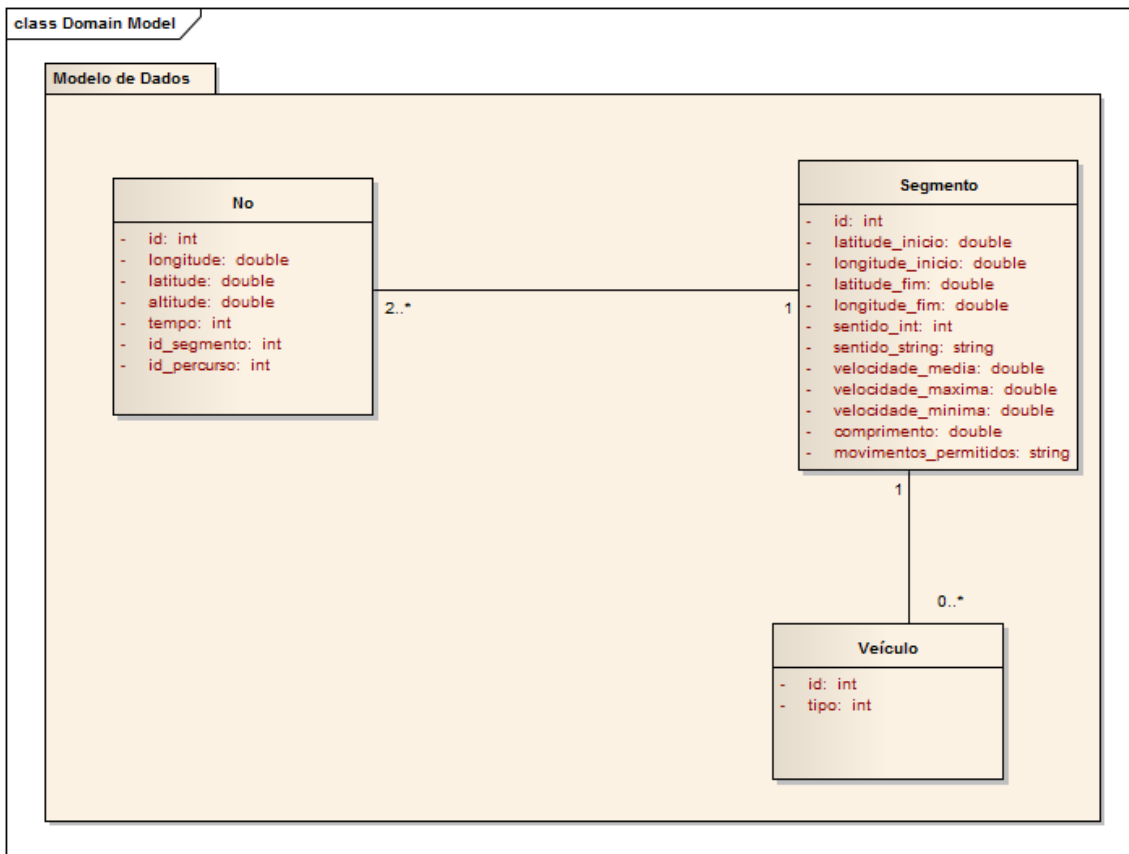


Figura 14 - Modelo de Dados do Projeto

3.4. Técnicas de Inferência

O principal objetivo e maior dificuldade do projeto consiste na aplicação de métodos e técnicas de inferência sobre dados GPS para se obter assim informação correta alocada no modelo de dados que será posteriormente carregado para um simulador. Pretende-se assim, que as técnicas aplicadas sejam bastante úteis, credíveis e eficazes para tornar o modelo o mais real possível.

As técnicas de inferência irão incidir para que seja possível obter os seguintes parâmetros dos segmentos de via:

- Sentido;
- Velocidades:
 - Média;
 - Mínima;
 - Máxima;
- Movimentos Permitidos.

3.4.1. Sentido das vias

Para a determinação do sentido das vias, será importante o percurso que um veículo faz, bem como a ordem temporal em que os segmentos de via são percorridos.

O sentido das vias será calculando tendo em conta os seguintes parâmetros:

- Coordenadas iniciais/finais do Segmento A – Percorrido no instante t ;
- Coordenadas iniciais/finais do Segmento B (segmento concorrente ao segmento A) – percorrido no instante $t+1$;
- Será feita a análise se as coordenadas finais do Segmento A correspondem às coordenadas iniciais/finais do Segmento B:
 - Caso afirmativo conclui-se que o movimento do Segmento A está a ser realizado do início para o fim do mesmo.
 - Caso contrário conclui-se que o movimento do Segmento A está a ser realizado do fim para o início do mesmo.

Para uma descrição mais pormenorizada das técnicas utilizadas e a forma como o algoritmo se encontra implementado poderá ser consultada a secção 4.6.1 ([Inferência sobre Logs GPS para determinação do sentido das vias](#)).

3.4.2. Velocidades

A determinação de velocidades nos segmentos das vias poderá ser um parâmetro bastante importante na modelação de redes para possíveis tomadas decisões na gestão de redes rodoviárias. No projeto pretende-se determinar as velocidades médias, máximas e mínimas, sendo a velocidade máxima dos segmentos da via a mais importante das três, pois será essa que na fase de simulação será utilizada para caracterizar o modelo.

3.4.2.1. Velocidade Média

Para a determinação da velocidade média de uma via, será importante registar os tempos de passagens nos nós da rede rodoviária. O procedimento para o cálculo da velocidade média será o seguinte (Figura15):

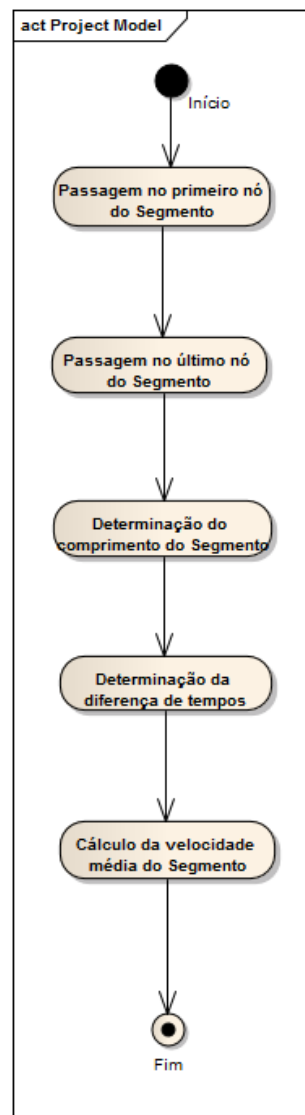


Figura 15 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade média de um segmento de via

Poderá ainda ser consultada a secção 4.6.2.1 ([Determinação de velocidade média das vias](#)), contendo uma descrição mais pormenorizada de como é inferida a velocidade média das vias.

3.4.2.2. Velocidade Máxima e Mínima

O procedimento para obter as velocidades máximas e mínimas de um segmento de via, será bastante semelhante com o cálculo da velocidade média referida anteriormente.

Sendo que irão variar também um do outro, pois num caso queremos obter a velocidade mínima registada no segmento da via, e noutro caso, temos como objetivo obter a velocidade máxima registada.

As ilustrações seguintes (Figura 16, Figura 17) demonstram qual o procedimento usado na obtenção das velocidades máximas e mínimas, respetivamente.

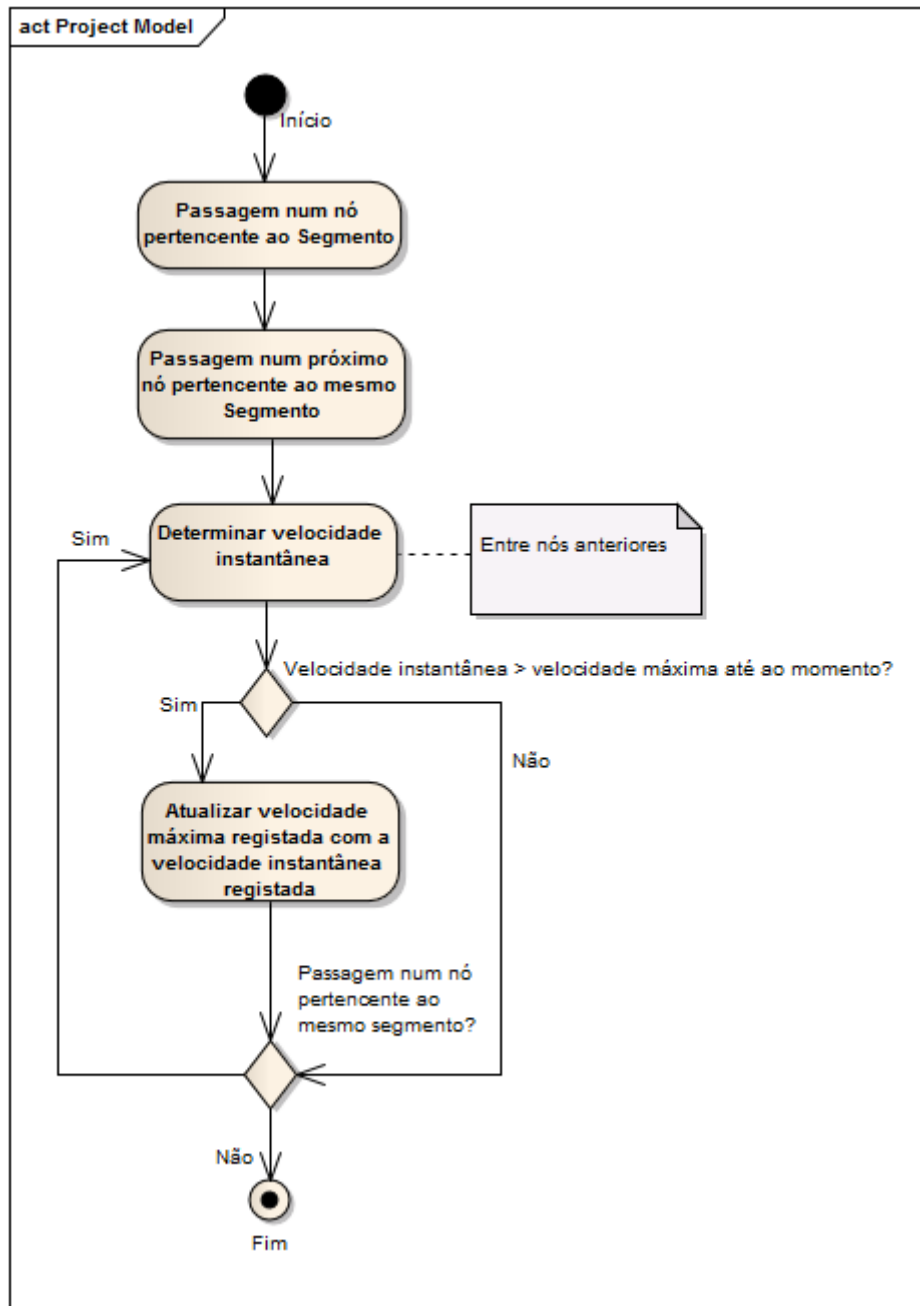


Figura 16 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade máxima registada na via

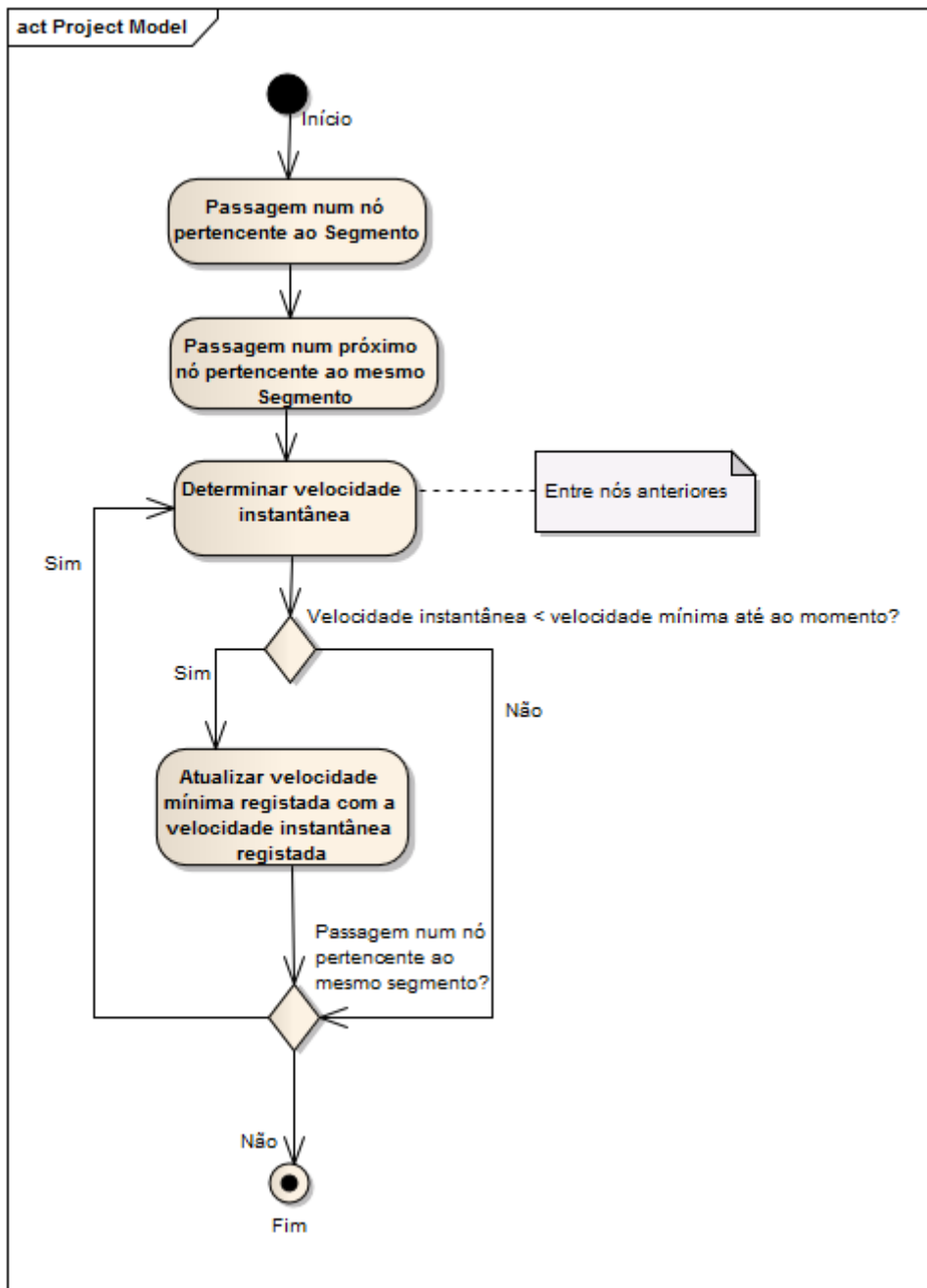


Figura 17 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade mínima registada na via

Poderão ser consultadas as secções 4.6.2.2 ([Determinação de velocidade máxima das vias](#)), e 4.6.2.3 ([Determinação de velocidade mínima das vias](#)) para compreender os algoritmos utilizados na determinação das velocidades máximas e mínimas respetivamente.

3.4.3. Movimentos Permitidos

Os movimentos permitidos em cada segmento de via são um parâmetro bastante importante na modelação de rede, visto que estando um veículo num dado segmento, terá acesso aos segmentos de via que poderá seguir, continuando assim a realizar o seu percurso.

Para a determinação dos movimentos permitidos em cada segmento de via será apenas importante o *path* realizado por um veículo durante um percurso, ou seja para determinar este parâmetro será apenas importante a sequência temporal dos segmentos de via visitados.

A Figura 18 (diagrama de atividades [ADHU]) demonstra o procedimento utilizado na obtenção dos movimentos permitidos:

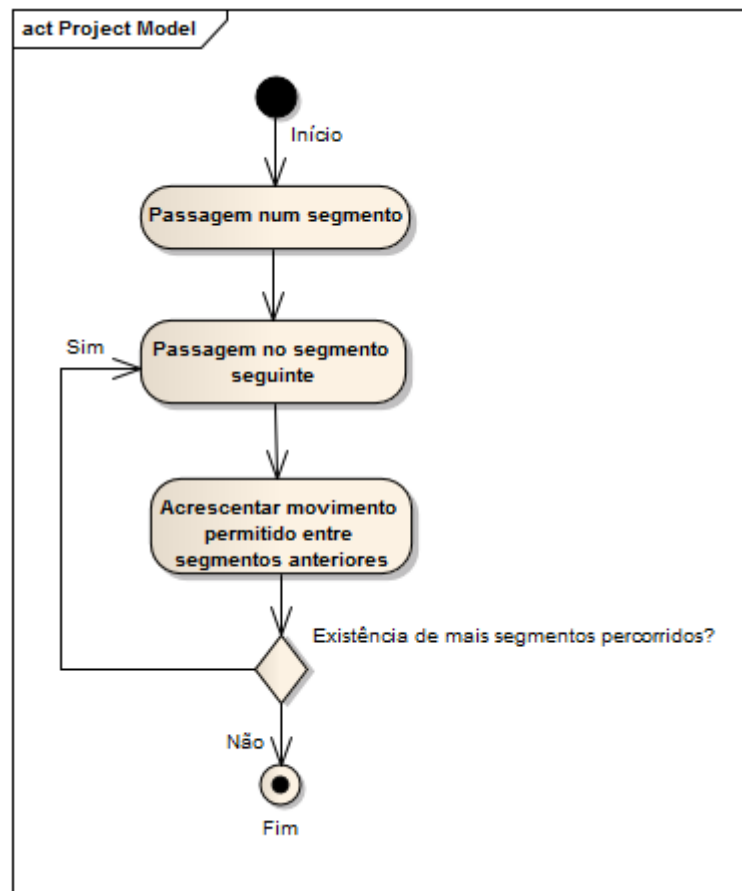


Figura 18 – Diagrama de atividades na determinação dos movimentos permitidos em cada segmento de via

Poderá ainda ser consultada a secção 4.6.3 ([Inferência sobre Logs GPS para determinação dos movimentos permitidos](#)), contendo uma descrição mais pormenorizada de como é inferido o parâmetro em questão.

3.5. Métodos de Avaliação da Solução

Existe um método bastante direto de avaliar a solução ao qual chegamos. Para isso, bastará apenas comparar o modelo obtido com o modelo real correspondente. Poderá ser feita a averiguação de todos os parâmetros inferidos através dos logs GPS:

- Sentido das vias num determinado segmento;
- Velocidades máximas, médias e mínimas dos segmentos de via;
- Movimentos permitidos.

A avaliação do modelo gerado poderá ser realizada através de uma visualização direta da rede em causa, podendo esta ser comparada recorrendo às tecnologias Google Maps [GM], Google Earth [GEAR], OpenStreetMap [OSM]. Consoante os segmentos de via percorridos poderemos avaliar e conferir diretamente se o modelo gerado contém os atributos bem inferidos após a aplicação das técnicas de inferência.

4. Implementação

O presente capítulo apresenta diversos aspetos bastante importantes e presentes durante a fase de implementação. Aqui, poderá ser consultada uma descrição pormenorizada dos algoritmos utilizados, estruturas usadas, tecnologias/ferramentas usadas, bem como uma breve descrição de como foi elaborado o visualizador gráfico e ainda a forma como se conseguiu executar a exportação do modelo gerado para o simulador SUMO.

4.1. Tecnologias/Ferramentas

Na implementação do projeto foram utilizadas diversas tecnologias/ferramentas, onde se destacam:

1. Bases de Dados Geográficas

A informação dos mapas digitais de Portugal encontram-se armazenados em bases de dados geográficas, que utilizam *PostgreSQL* para acrescentar, remover ou manipular dados [DC].

Foi criada uma base de dados em *PostgreSQL* para armazenar os dados referentes ao projeto. Essa base de dados foi alocada num servidor providenciado pelo professor Rosaldo Rossetti e pelo Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência de Computadores/Departamento Engenharia Informática (LIACC/DEI).

2. NoniGPSPlot

Aplicação utilizada para a recolha de percursos rodoviários [TNONI]. Possibilitando ao *developer* numa fase posterior aplicar métodos de inferência sobre esses dados recolhidos.

3. Visualizadores:

- O *uDig* é uma aplicação *open source*, implementada recorrendo à linguagem de programação Java [UDPP]. Este foi usado com o intuito de tornar possível a edição e visualização de objetos geográficos.
- Outras ferramentas de visualização foram utilizadas para ter uma representação gráfica da informação dos dados geográficos nomeadamente: Google Maps, OpenStreetMap e Google Earth.

4. Linguagem de Programação

As principais linguagens de programação utilizadas no projeto foram C++, Java, Qt/C++ e PostgreSQL para a implementação das funcionalidades referidas neste capítulo.

5. IDE - Integrated development environment

Como ferramentas utilizadas para desenvolver código utilizou-se:

- Microsoft Visual Studio 2010 – IDE que se afirma como uma ferramenta muito poderosa permitindo o desenvolvimento de código em diversas linguagens, onde se destacam [IDEVS]:
 - C/C++;
 - Java;
 - C#;
 - OpenGL.

Esta ferramenta foi utilizada para aplicar os métodos de inferência sobre os Logs GPS e extrair daí informação sobre os segmentos de via percorridos.

- Qt Creator – IDE utilizado para desenvolver o *plug-in* a ser importado para o *netEditor*. Com a utilização deste IDE pretendeu-se desenvolver um ambiente gráfico da rede construída e modelada.

6. netEditor

O projeto foi desenvolvido como um *plug-in* da aplicação *netEditor* que se encontra a ser desenvolvida no Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência de Computadores/Departamento Engenharia Informática (LIACC/DEI) na FEUP.

7. Controlo de Versões

Foi utilizado um controlo de versões para alojar o projeto e ter sempre diversas versões de todo o *source* desenvolvido. Esta ferramenta foi assim extremamente importante, pois um projeto com esta dimensão está constantemente a sofrer diversas alterações, permitindo sempre fazer *checkout* de qualquer versão previamente alocada.

Foi assim utilizado o controlo de versão *Redmine* [REDM], providenciado pela FEUP.

8. SUMO

O simulador SUMO foi utilizado para carregar a rede, e ter uma visualização gráfica final da rede que foi modelada e construída na fase da aplicação de métodos de inferência sobre logs GPS.

9. Enterprise Architect

Ferramenta muito importante na conceção de diagramas inseridos no presente documento. Este *software* permite ao utilizador implementar diversos tipos de diagramas, onde se destacam [EAR]:

- Diagramas de Classes;
- Diagramas de Casos de Uso;
- Diagramas de Sequência;
- Diagramas de Lógica de Negócio;
- Diagramas de Atividades;
- Diagramas de Interface.

Foi assim, essencialmente utilizada na elaboração de todos os diagramas de atividades, sequência, bem como na conceção do modelo de dados usado no projeto.

10. TortoiseSVN

Ferramenta utilizada com o objetivo de fazer *checkout's* e *commit's* do código desenvolvido e alocado no controlo de versões [DTSVN].

11. Microsoft Word

Software utilizado para a escrita do relatório referente ao projeto.

4.2. *NoniGPSPlot*

O primeiro ponto da implementação deste projeto passa pela recolha de logs GPS para que posteriormente seja possível aplicar métodos de inferência sobre estes, e obter informação sobre os segmentos de vias a que pertencem esses pontos GPS.

Assim, os dados foram recolhidos através de uma aplicação que tem por nome *NoniGPSPlot*. Esta aplicação tornou possível a recolha de logs GPS durante diversos percursos de um veículo, e posteriormente possibilitou também a exportação para ficheiros dos seguintes tipos [TNONI]:

- GPS eXchange Format (GPX) [SGPX];
- Text File (TXT);
- Keyhole Markup Language (KML) [DKML].

4.3. *Parsers*

Na execução do projeto foi necessário o desenvolvimento de dois tipos de *parsers*, ambos relacionados com logs GPS.

Foi assim necessário desenvolver um *parser* que torna-se possível a transição para tipos de dados definidos previamente, como são os casos dos Segmentos de Vias e dos Nós.

Assim, foi desenvolvido um *parser* relacionado com os pontos GPS recolhidos durante um percurso via automóvel, e um *parser* relacionado com a leitura dos segmentos de via que compõem a zona do campus da cidade do Porto.

De seguida há uma melhor descrição desses dois tipos de *parsers* implementados.

4.3.1. *Parser de Leitura dos Logs GPS dos percursos realizados*

O *parser* relativo à leitura dos pontos que compõem um percurso foi desenvolvido com o intuito de tornar possível inserir todos os logs GPS que um veículo percorre durante um trajeto para objetos do tipo *Node*. Posteriormente esses dados serão acedidos, manipulados e alterados.

Este *parser* cria um ficheiro do tipo (.sql) que poderá ser posteriormente importado e consequentemente carregado para uma base de dados. Este ficheiro resultante contém diversas instruções SQL, contendo inúmeros *INSERTS* de todos os pontos que constituem o percurso em causa [POSSQL].

Segue-se a Figura 19 contendo um excerto de um ficheiro desse tipo:

```
INSERT into node values ( 0, -8.5983383333, 41.17766, 118.7, 0, 31161, 1 );
INSERT into node values ( 1, -8.5984, 41.1776783334, 118.9, 1, 31161, 1 );
INSERT into node values ( 2, -8.5984666666, 41.1777, 119, 3, 31161, 1 );
INSERT into node values ( 3, -8.5985333334, 41.17772, 119.2, 3, 31161, 1 );
INSERT into node values ( 4, -8.598595, 41.1777383333, 119.3, 5, 31161, 1 );
INSERT into node values ( 5, -8.5986483334, 41.1777566667, 118.5, 5, 31161, 1 );
INSERT into node values ( 6, -8.5987000001, 41.1777750001, 118.4, 7, 31161, 1 );
INSERT into node values ( 7, -8.5987533334, 41.177795, 118.3, 7, 31162, 1 );
INSERT into node values ( 8, -8.5988116667, 41.1778249999, 118.3, 8, 6245, 1 );
INSERT into node values ( 9, -8.598875, 41.1778483333, 118.5, 10, 6246, 1 );
INSERT into node values ( 10, -8.598935, 41.1778683333, 118.7, 10, 6246, 1 );
INSERT into node values ( 11, -8.598985, 41.1778833334, 118.8, 12, 6246, 1 );
INSERT into node values ( 12, -8.5990166667, 41.1778933333, 119, 12, 6246, 1 );
```

Figura 19 - Exemplo de um excerto do ficheiro nodes.sql

4.3.2. *Parser* de Leitura dos Segmentos de Vias da Zona do Campus do Porto

Foi também desenvolvido um *parser* relacionado com os segmentos de via que compõem a rede viária da zona do Campus da Cidade do Porto. Este foi desenvolvido para que fosse possível ter acesso aos segmentos que constituem essa zona, tornando possível caracterizar esses mesmos segmentos de via.

Tal como o *parser* caracterizado anteriormente, este também procede à criação de um ficheiro do tipo (.sql) que poderá ser importado e carregado para uma base de dados, caracterizando assim os elementos designados por Segmentos de Via [POSSQL].

Segue-se uma ilustração de um ficheiro desse tipo (Figura 20):

```
INSERT into segmentos values ( 30947, -8.5986522917, 41.1791172114, -8.5984979257, 41.1794386937, 1,
    "Sentido do ponto do inicio para o fim" , 46.87349639 , 47.33329933 ,
    23.90163321, 38.01006311 );

INSERT into segmentos values ( 30948, -8.5984979257, 41.1794386937, -8.5983507481, 41.1797287309, 1,
    "Sentido do ponto do inicio para o fim" , 44.64970563, 44.64970563,
    44.64970563, 34.52280505 );

INSERT into segmentos values ( 30949, -8.5983507481, 41.1797287309, -8.5982125631, 41.1800299417, 1,
    "Sentido do ponto do inicio para o fim" , 28.65019853, 32.0379694 ,
    1.37595412, 35.43349185 );
```

Figura 20 - Exemplo de um excerto do ficheiro segmentos.sql

4.4. Algoritmo de Mapeamento dos Logs GPS

Antes de aplicar os métodos de inferência sobre os Logs GPS é necessário que todos os nós que compõem um percurso sejam mapeados e assim associados a um segmento, tornando possível posteriormente caracterizar esse mesmo segmento [FR09].

Segue-se a Figura 21 demonstrando esse mapeamento necessário para uma posterior caracterização dos segmentos de via em causa:

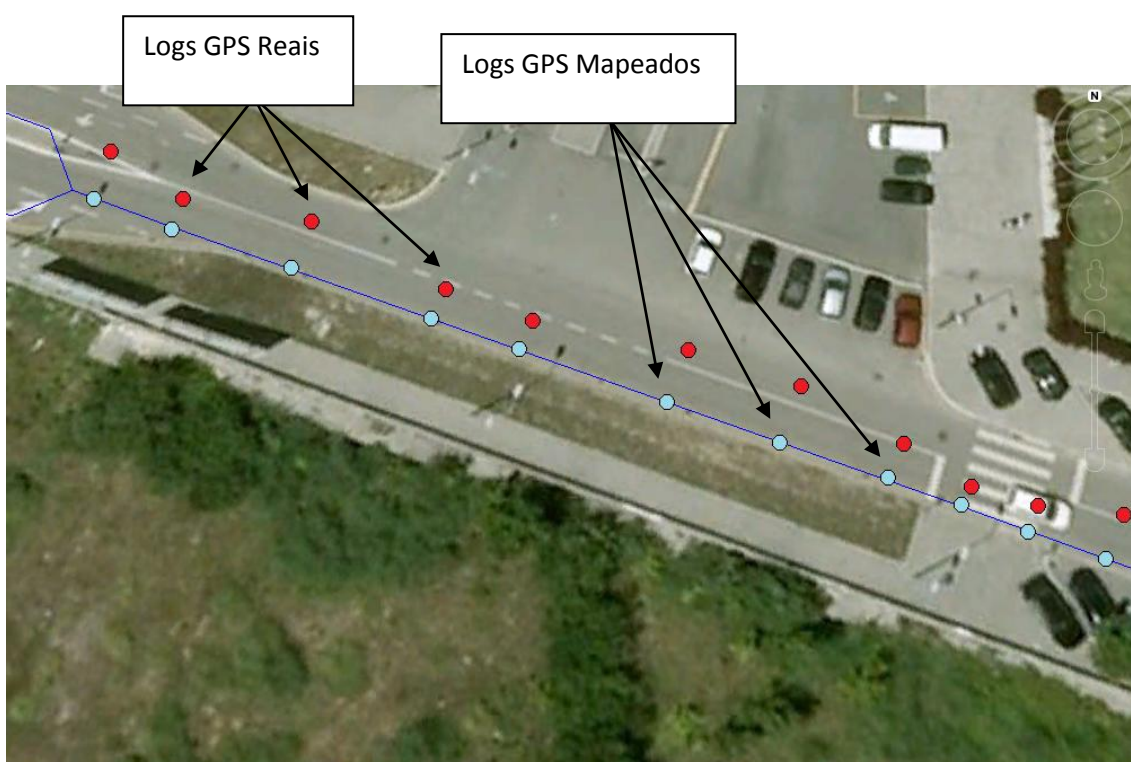


Figura 21 – Exemplo do mapeamento de logs GPS

Assim, e para se conseguir alcançar o mapeamento referido foi implementado e executado o seguinte algoritmo demonstrado no próximo diagrama (Figura 22):

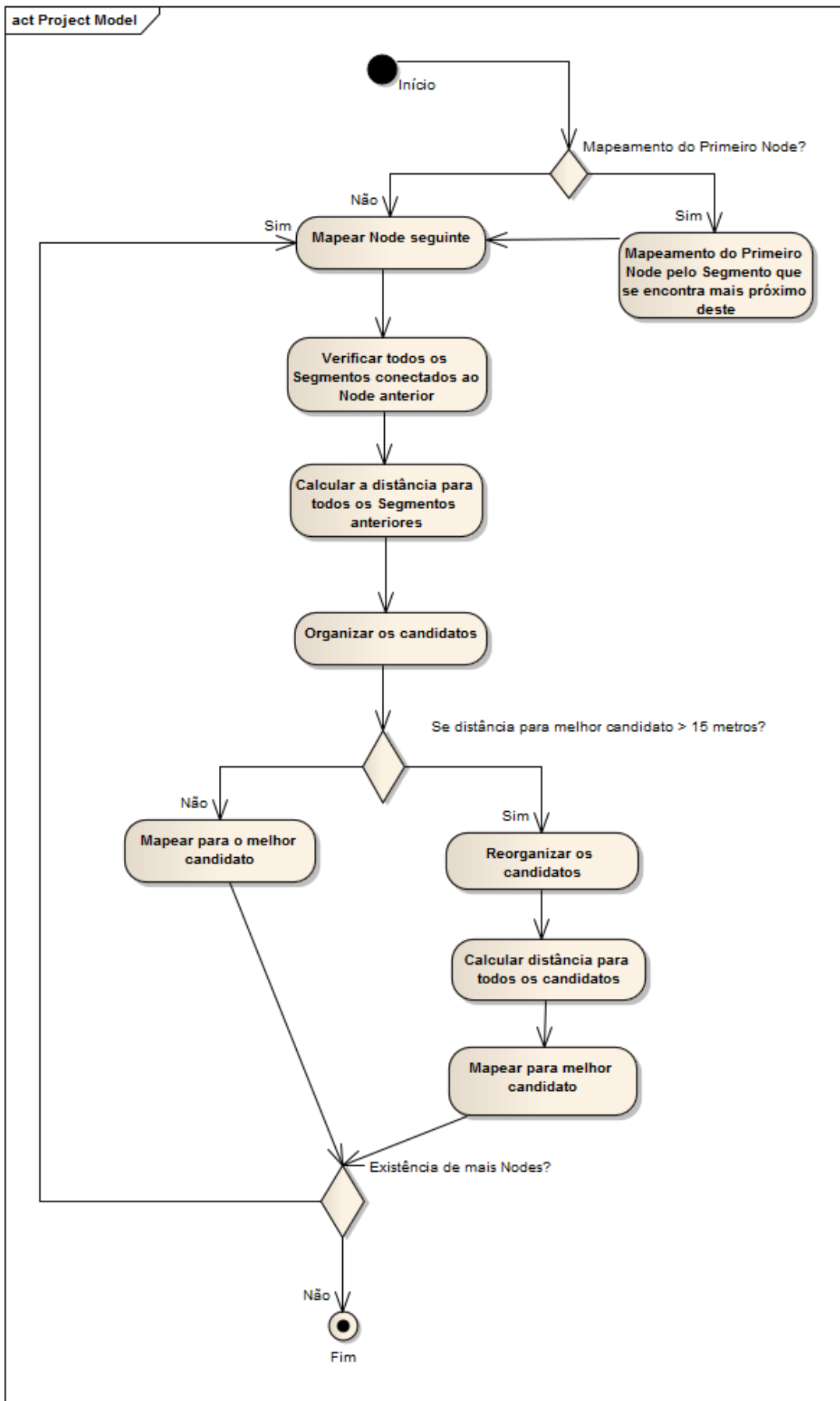


Figura 22- Diagrama de atividades do algoritmo de mapeamento

Inicialmente será averiguado se está a ser mapeado o primeiro *Node* do percurso. Caso seja este o caso, será calculada a distância para os segmentos em seu redor utilizando o seguinte algoritmo (Figura 23):

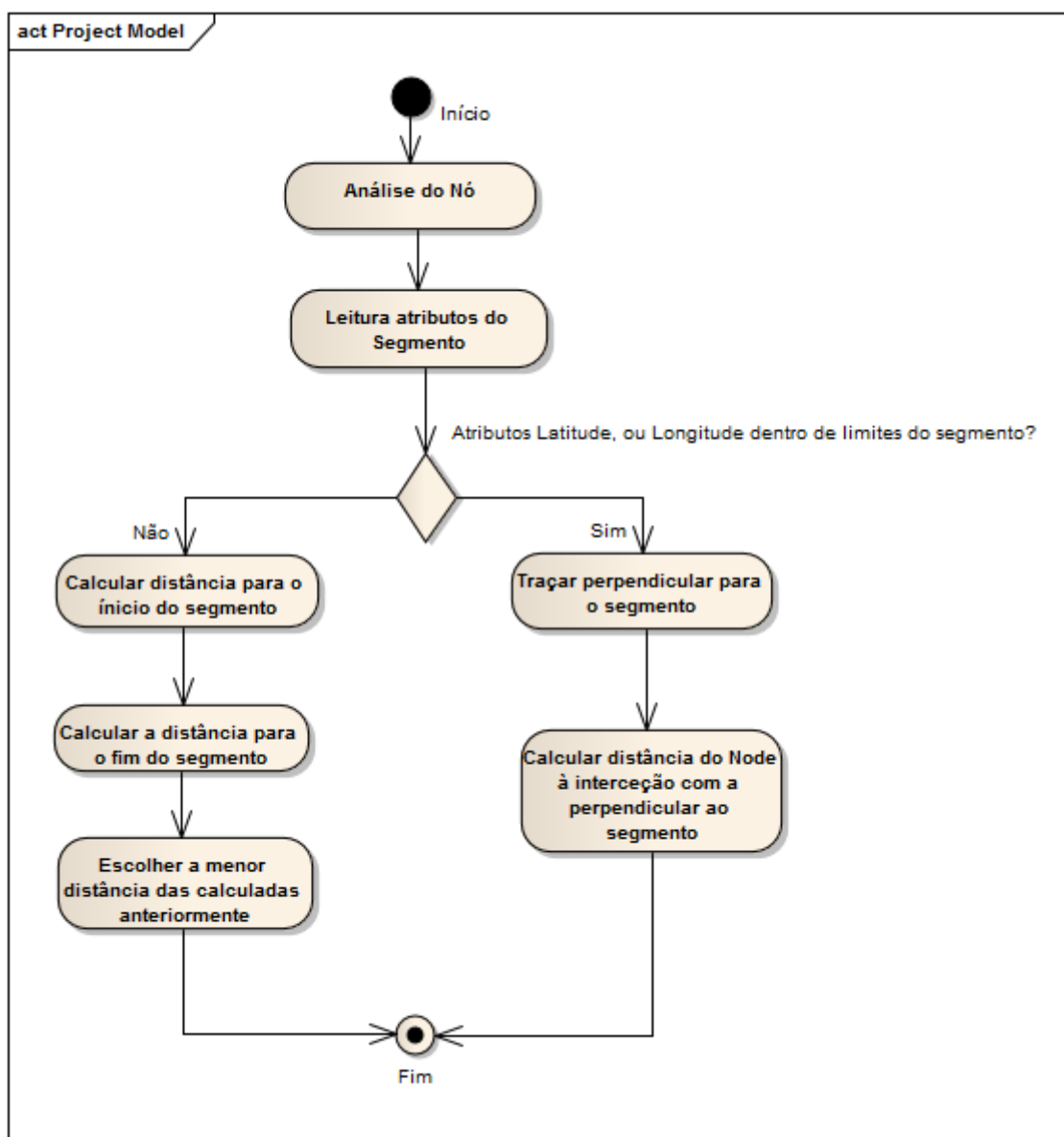


Figura 23 - Diagrama de atividades do algoritmo de cálculo da distância do Node a um Segmento

Caso se tenha já mapeado anteriormente algum *Node*, serão determinados todos os segmentos que estão ligados ao último segmento, e para cada um destes serão calculadas as distâncias do *Node* ao respetivo segmento, e serão assim organizados consoante o peso que obtiverem da sua distância.

Se o melhor candidato que se obteve tem um peso superior a 15 (valor manual estipulado após a execução de diversos testes) poderá significar que o veículo passou de um segmento de via para outro sem passar por um intermédio. Este caso acontecerá muito provavelmente devido ao segmento ter um comprimento reduzido (como demonstra a Figura 24), o algoritmo recalculará todos os pesos desta vez não apenas para os segmentos que estão ligados ao último

segmento mapeado, mas sim para todos os segmentos de via que compõem a rede. Esta exceção funcionará como uma espécie de *backtracking* possibilitando o mapeamento para segmentos que não estavam ligados ao último mapeado.

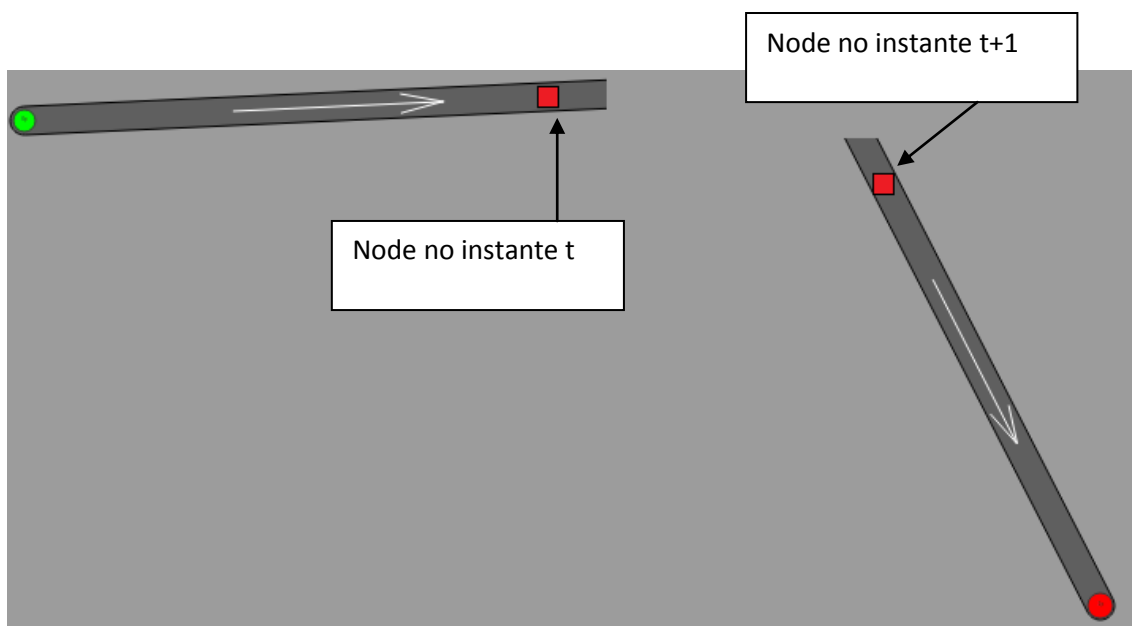
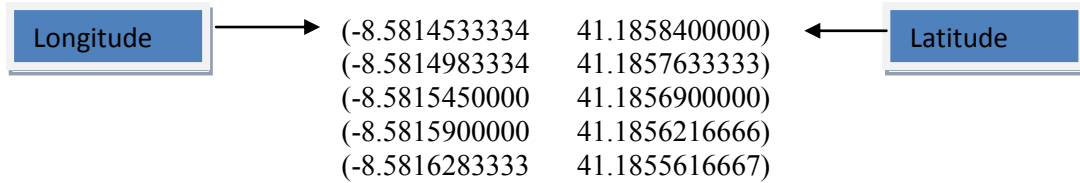


Figura 24 - Representação da passagem de um segmento de via a outro sem passar por um segmento intermédio

4.5. Estruturas de Dados Utilizadas

Como já foi dito anteriormente, um percurso é composto por diversos pontos geográficos caracterizados através de latitude, longitude como se pode ver de seguida:



O primeiro parâmetro é referente à longitude e o segundo referente à latitude pelo qual o veículo passou num determinado instante de tempo durante o seu percurso.

Para compreensão da abordagem seguida na determinação dos parâmetros inferidos, será necessário previamente saber como os dados se encontram alojados.

O percurso de um veículo é composto por diversos pontos GPS pertencentes a diferentes segmentos de via (após aplicação do método de map matching referido na secção anterior 4.4 [Algoritmo de Mapeamento dos Logs GPS](#)). Assim, a abordagem seguida foi alojar os logs GPS numa estrutura vetor de vetores [CPP]. Ou seja, um vetor que guardará em cada posição um vetor composto por logs GPS pertencentes todos ao mesmo segmento de via. A Figura 25 torna mais perceptível a estrutura usada:

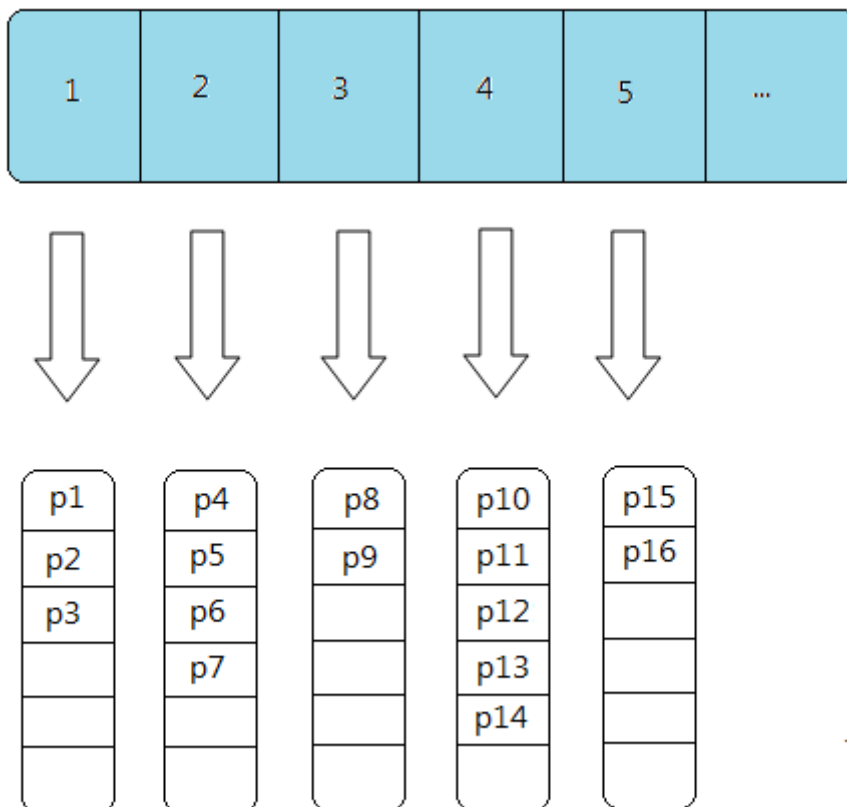


Figura 25 - Estrutura vetor de vetor

Ou seja a primeira posição do vetor de vetores guarda todos os pontos do percurso referentes ao primeiro segmento de via pelo qual o veículo passou (no caso da Figura 25 seria o 1º, 2º e 3º ponto do percurso). A segunda posição do vetor aloca todos os pontos referentes ao segundo segmento de via percorrido pelo veículo durante o percurso (neste caso seria o 4º, 5º, 6º e 7º ponto) e assim sucessivamente, ficando todo um percurso organizado em segmentos de via.

O algoritmo seguido para obter esta estrutura de dados foi o seguinte:

Para cada *Node*:

1. Analisar identidade (segmento pertencente) do último *Node* analisado;
2. Analisar identidade (segmento pertencente) do *Node* atual:
 - a. Se a identidade do último *Node* analisado for igual à identidade do *Node* atual:
 - i. Adiciona o *Node* ao vetor ao qual o anterior foi adicionado.
 - b. Se a identidade último *Node* analisado for diferente da identidade do *Node* atual:
 - i. Adiciona um novo vetor dentro do vetor principal

O diagrama que se segue (Figura 26) explicita de forma mais clara o funcionamento do algoritmo explicado anteriormente:

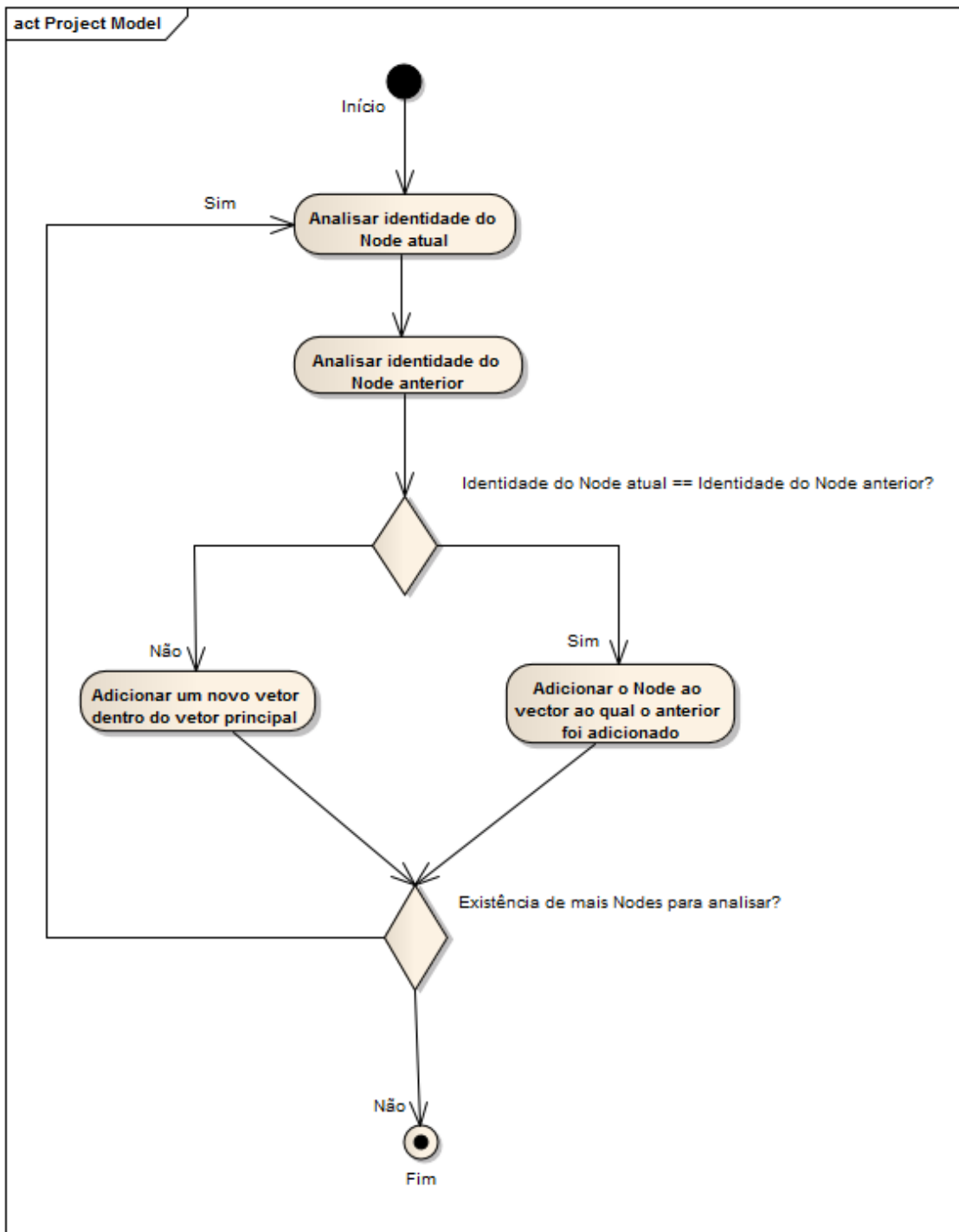


Figura 26 - Diagrama de atividades na construção da estrutura vetor de vetor

4.6. Métodos de Inferência sobre Logs GPS

O objetivo principal do projeto em causa é como já foi referido anteriormente aplicar métodos de inferência sobre logs GPS obtendo assim informação sobre os segmentos de via percorridos.

Os métodos de inferência poderão ser agrupados em 3 grandes grupos:

- Sentido das vias;
- Velocidades;
- Movimentos Permitidos.

Sentido das Vias

A determinação do sentido das vias como o próprio nome indica, está focada em determinar os sentidos permitidos de cada segmento de via.

Representando:

- A – início de um segmento de via
- B – fim de um segmento de via.

Cada segmento de via poderá ser de um sentido (A-> B ou B-> A), ou por outro lado possibilitar dois sentidos (A-> B e B-> A).

Velocidades

No grupo relativo às velocidades das vias pretende-se determinar três velocidades diferentes:

- Velocidade Média da Via – Determinação da velocidade média registada em cada segmento de via que constitui um percurso;
- Velocidade Máxima da Via – Determinação da velocidade máxima instantânea registada em cada segmento de via;
- Velocidade Mínima da Via- Determinação da velocidade mínima instantânea registada em cada segmento de via.

Movimentos Permitidos

Por último foram aplicados também métodos de inferência com o intuito de determinar os movimentos permitidos entre segmentos de vias adjacentes, ou seja, estando um condutor numa via para que vias poderá continuar o seu percurso.

As técnicas e métodos aplicados sobre os logs GPS, bem como as metodologias seguidas encontram-se explicitados nas secções seguintes.

4.6.1. Inferência sobre Logs GPS para determinação do sentido das vias

Tendo os dados guardados na estrutura de dados descrita anteriormente, o algoritmo para obtenção do sentido dos segmentos de vias foi realizado tendo em conta a sequência dos segmentos percorridos.

Ou seja, se o veículo passou do segmento A para o segmento B, e o fim do segmento A coincide com o início ou fim do segmento B, poderemos concluir que o segmento A tem o sentido do início para o fim do segmento. O contrário também se aplicará, ou seja, se o movimento se deu do segmento A para o segmento B e o início do segmento A coincide com o ponto inicial ou final do segmento B, o segmento A tem o sentido do fim para o início do mesmo.

Seguem-se duas representações gráficas (uma representação do sentido do início para o fim do segmento (Figura 27), bem como uma segunda representação referente ao sentido do fim para o início do segmento (Figura 28)):

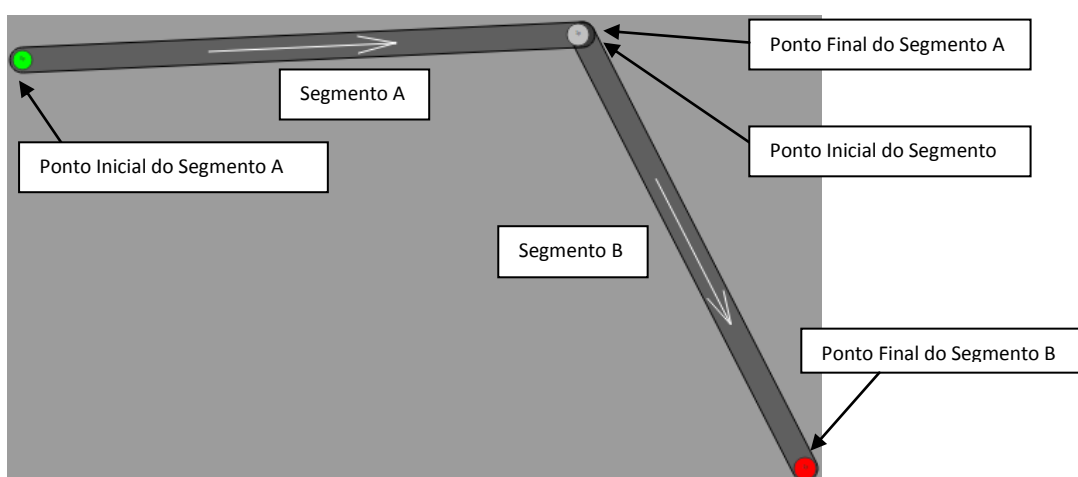


Figura 27 - Representação gráfica de um segmento de via com o sentido do início para o fim do mesmo

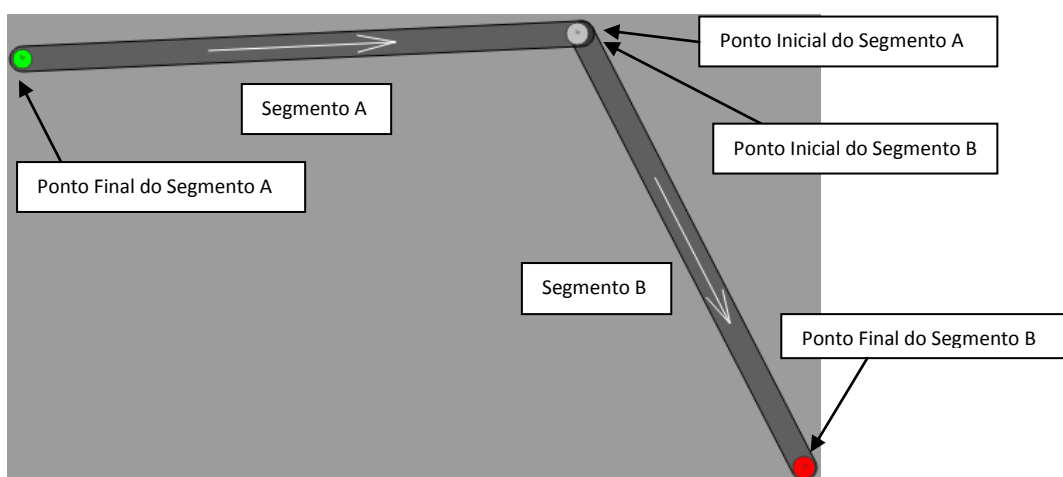


Figura 28 - Representação gráfica de um segmento de via com o sentido do fim para o início do mesmo

Segue-se uma explicação mais pormenorizada do algoritmo utilizado para a determinação do sentido dos segmentos de via:

Para cada segmento percorrido:

- a. Obtenção da identidade do segmento (A);
- b. Obtenção da identidade do segmento seguinte (B);
- c. Se ponto final do segmento A coincidir com o ponto inicial ou com o ponto final do segmento B:
 - i. Se sentido do segmento A ainda não tiver sido inferido -> Sentido permitido será do início para o fim do segmento ($P_i \rightarrow P_f$);
 - ii. Se sentido do segmento A já foi inferido anteriormente através de um sentido do fim para o início do segmento -> concluir-se-á que o segmento de via permitirá os dois sentidos.
- d. Se ponto inicial do segmento A coincidir com o ponto inicial ou com o ponto final do segmento B:
 - i. Se sentido do segmento A ainda não tiver sido inferido -> Sentido permitido será do fim para o início do segmento ($P_f \rightarrow P_i$);
 - ii. Se sentido do segmento A já foi inferido anteriormente através de um sentido do início para o fim do segmento -> concluir-se-á que o segmento de via permitirá os dois sentidos

Os diagramas que se seguem (Figura 29, Figura 30) demonstram de uma forma mais elucidativa o algoritmo utilizado para inferir o sentido dos segmentos de via:

O algoritmo está assim, dividido em duas partes:

- Primeira etapa - referente à recolha dos dados dos segmentos contíguos (Figura 29);
- Parte final - relacionada com a aplicação de métodos para obter o sentido das vias (Figura30).

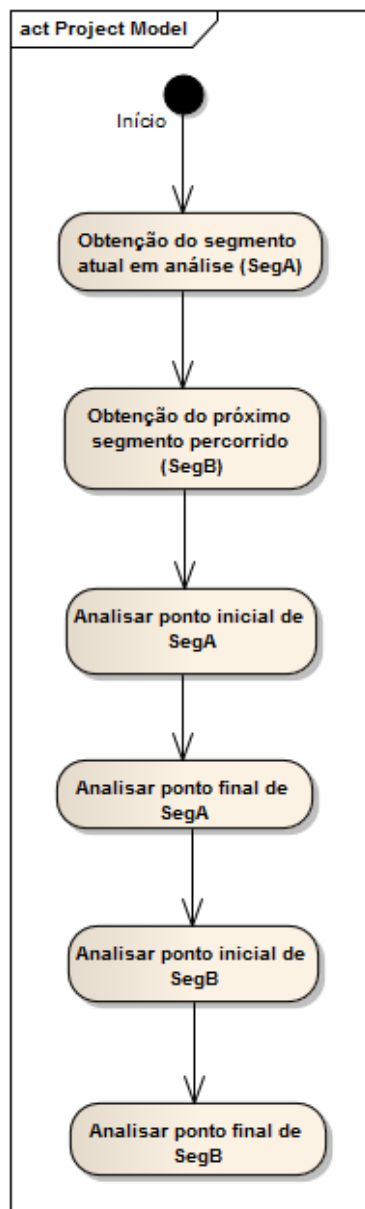


Figura 29 - Primeira parte do diagrama de atividades na determinação do sentido das vias

Segue-se a Figura 30 ilustrando a segunda parte do diagrama de atividades utilizado na determinação do sentido dos segmentos de via:

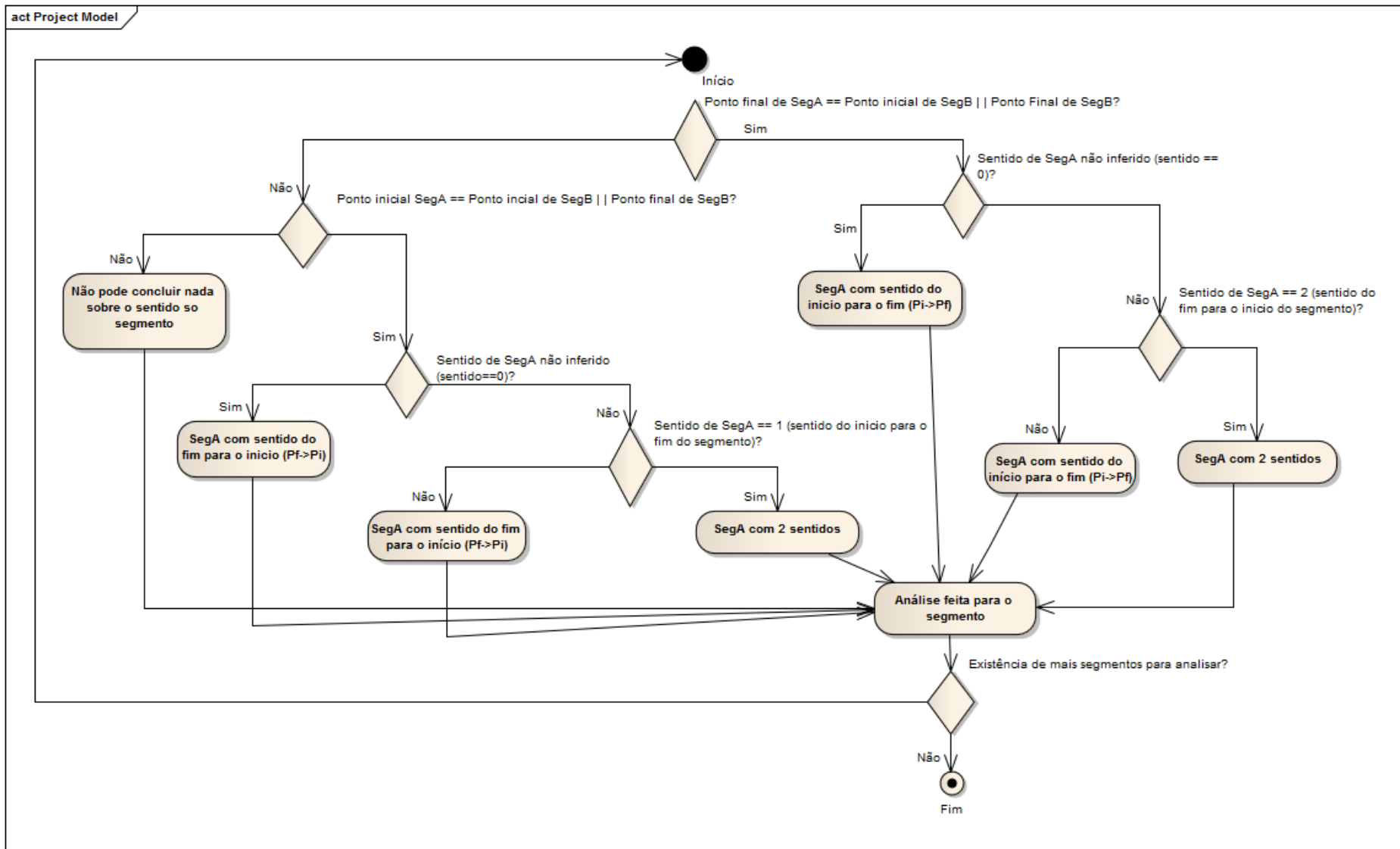


Figura 30 - Segunda parte do diagrama de atividades na determinação do sentido das vias

4.6.2. Inferência sobre Logs GPS para determinação de velocidades

A velocidade é um parâmetro bastante importante no que toca à circulação rodoviária. Aqui serão explicitadas de seguida a forma como se abordou o problema para conseguir obter as velocidades médias, máximas e mínimas em cada segmento de via que compõem um determinado percurso automóvel.

4.6.2.1. Determinação da velocidade média das vias

O parâmetro velocidade média pode ser um parâmetro muito relevante, pois permite averiguar se uma via é bastante propícia a trânsito, momentos em que é mais frequente o tráfego tornar-se mais intenso, bem como momentos com menor tráfego. Para a determinação da velocidade média apenas são considerados o primeiro e último nó (*node*) pertencente a cada segmento de via como ilustra Figura 31:

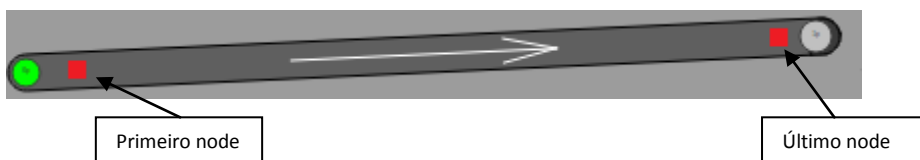


Figura 31 - Representação gráfica dos Nodes importantes na determinação da velocidade média dos segmentos de via

Assim a abordagem para determinar a velocidade média dos segmentos de via foi a seguinte:

1. Se tamanho de vetor do segmento em análise tem tamanho 1 (ou seja só passou nesse segmento apenas num instante de tempo):
 - 1.1. Velocidade média será consequentemente zero.
2. Se tamanho de vetor do segmento em análise tem tamanho superior a 1 (ou seja passou nesse segmento em mais do que um instante de tempo):
 - 2.1. Anotar o instante do primeiro ponto de um segmento -> t_1 ;
 - 2.2. Anotar o instante do último ponto desse mesmo segmento -> t_2 ;
 - 2.3. Calcular a diferença de instantes -> $t_2 - t_1$:
 - 2.3.1. Se a diferença de instantes for igual a zero
 - 2.3.1.1. Atualiza diferença de instantes com o valor 1.
 - 2.3.2. Se a diferença de instantes for superior a zero
 - 2.3.2.1. Diferença de instantes atualizada com o valor correto.
 - 2.4. Calcular a distância entre o primeiro e último ponto do segmento -> $p_2 - p_1$;
 - 2.5. Calcular a velocidade média do segmento -> $\frac{p_2 - p_1}{t_2 - t_1}$.

O diagrama que se segue (Figura 32) descreve o procedimento em causa:

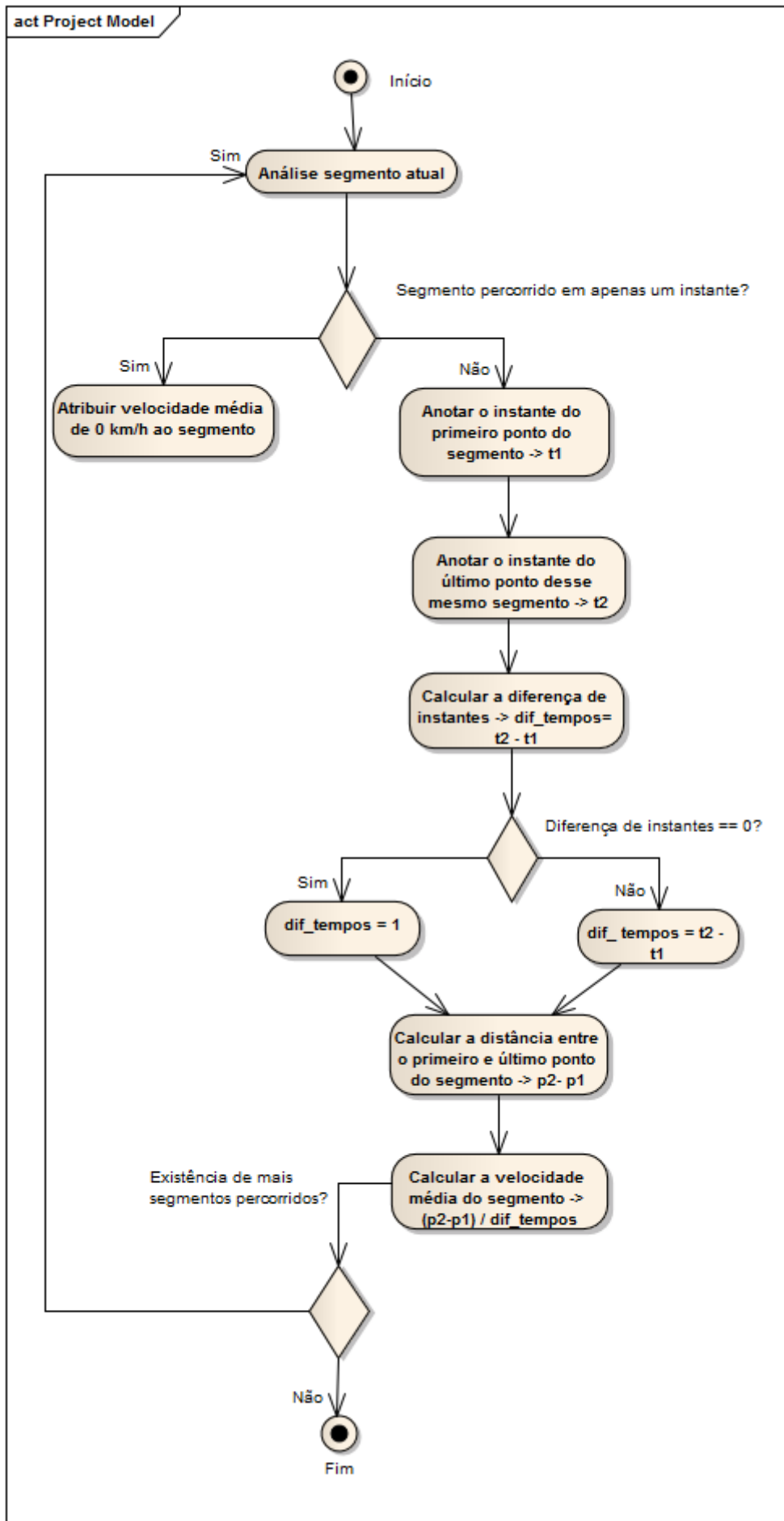


Figura 32 – Diagrama de atividades na determinação da velocidade média das vias (Fase 1)

Tendo sido executado o algoritmo acima referido temos já as velocidades médias para os segmentos percorridos. Contudo, se durante um certo percurso o veículo passar no mesmo segmento diversas vezes, estas velocidades deverão constar no mesmo segmento e deverá ser realizada a média aritmética das velocidades médias.

Sendo assim, a velocidade média final será obtida depois de se aplicar o algoritmo representado na Figura 33:

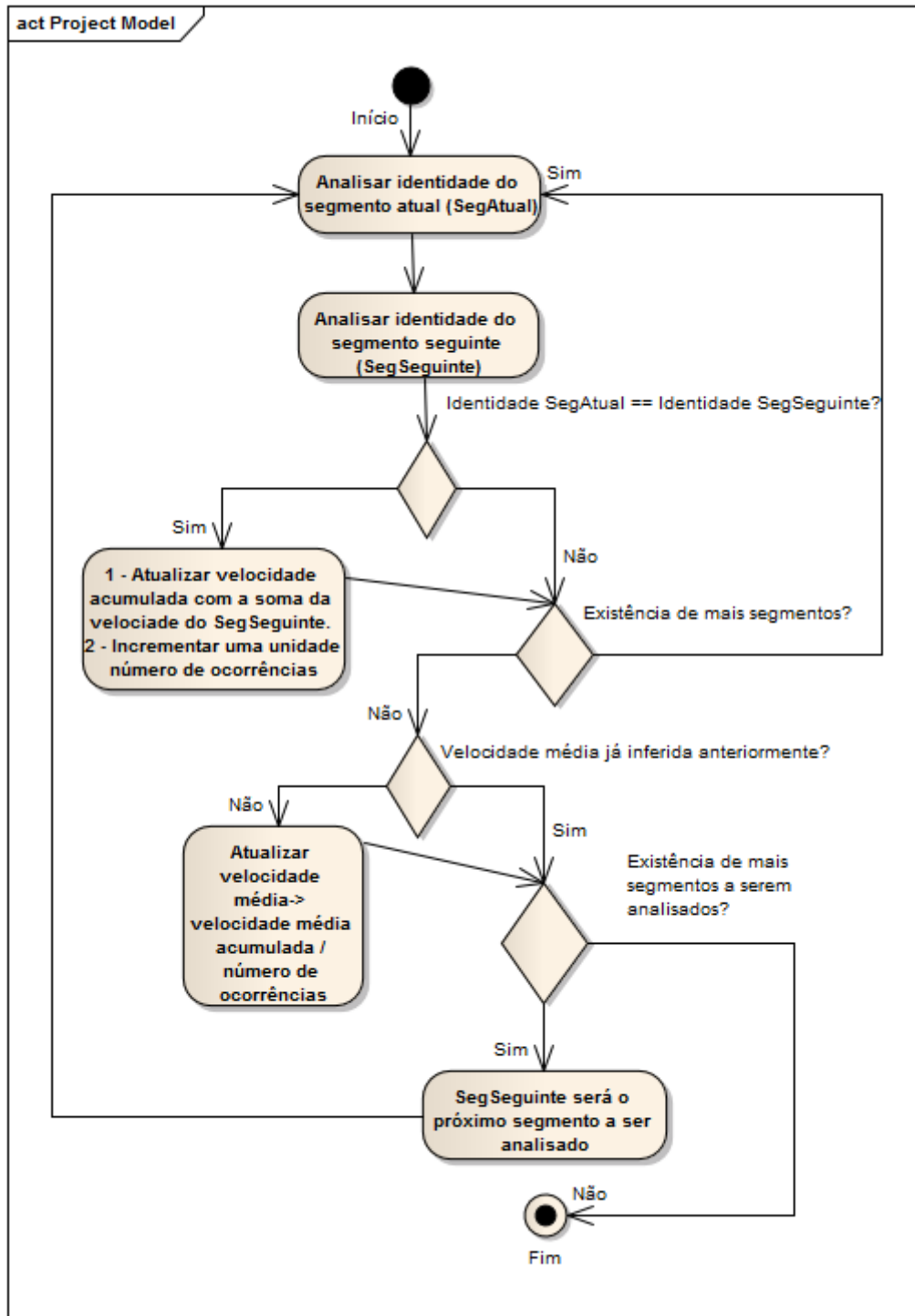


Figura 33 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade média das vias (Fase 2)

4.6.2.2. Determinação da velocidade máxima das vias

A determinação das velocidades máximas registadas nos segmentos de via, poderá ser importante para ditar limites de velocidades permitidas nos segmentos, e através daí concluir em que tipo de vias foi realizado o percurso.

Segue-se a Tabela 9 contendo limites de velocidades permitidos em Portugal Continental [COEST]:

Tabela 9- Limites máximos de circulação nos diferentes tipos de vias em Portugal

Tipo de veículo	Dentro das localidades	Fora das localidades	Vias reservadas	Autoestradas
Ligeiros de passageiros e mistos sem reboque	50 km/h	90 km/h	100 km/h	120 km/h

Na determinação da velocidade máxima dos segmentos de via, são considerados e importantes todos os nodes percorridos pertencentes ao segmento de via em questão, como demonstra a Figura 34:

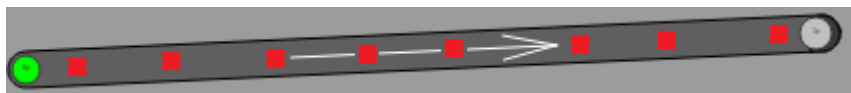


Figura 34 - Representação gráfica dos Nodes a ter em consideração na determinação da velocidade máxima dos segmentos de via

Assim, para a determinação das velocidades máximas dos segmentos de via, o procedimento seguido foi o seguinte:

1. Anotar o tempo de passagem num nó do segmento;
2. Anotar o tempo de passagem no nó seguinte do mesmo segmento;
3. Determinar velocidade entre os nós anteriores;
4. Verificação se a velocidade em causa é maior que a velocidade máxima registada até ao momento:
 - 4.1. Se a velocidade em causa é superior, atualiza a velocidade máxima com a velocidade em causa.
5. Verificação da existência de mais nós pertencentes ao segmento de via:
 - 5.1. Se existem mais nós para serem analisados volta a 1.
 - 5.2. Caso contrário, o algoritmo chegou ao fim.

De seguida, encontra-se o diagrama de atividades que ilustra de uma melhor forma o algoritmo em causa (Figura 35):

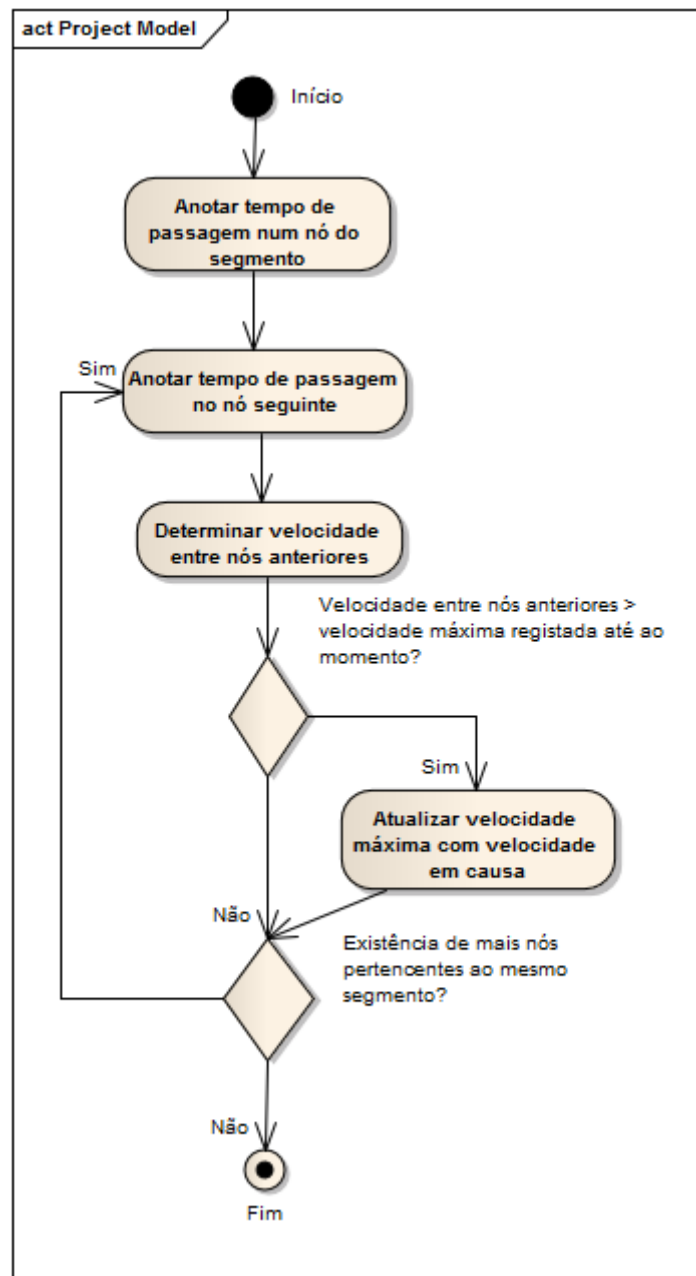


Figura 35 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade máxima das vias

4.6.2.3. Determinação da velocidade mínima das vias

A determinação das velocidades mínimas nos segmentos de via não terá um papel tão importante, pois por lei apenas há limites de velocidade mínimas em autoestradas e vias rápidas correspondente a 40 km/h, e salvo em raras exceções estando estas sempre sinalizadas, como é o caso de aproximação de zonas escolares, obras temporárias entre outros.

A determinação da velocidade mínima poderá também estar condicionada em casos onde haja tráfego intenso, podendo originar filas de trânsito dando origem a velocidades mínimas na ordem dos 0 km/h.

Tal como no caso da velocidade máxima, também na determinação da velocidade mínima são considerados todos os nodes percorridos pertencentes ao segmento de via em questão (poderá ser consultada a Figura 34 para ter uma visão gráfica dos nodes considerados).

Assim, para a determinação das velocidades mínimas dos segmentos de via, o procedimento foi o seguinte:

1. Anotar o tempo de passagem no nó do segmento;
2. Anotar o tempo de passagem no nó seguinte;
3. Determinar velocidade entre os nós anteriores;
4. Verificação se a velocidade em causa é inferior à velocidade mínima registada até ao momento:
 - a. Se a velocidade em causa é inferior, atualiza a velocidade mínima com a velocidade em causa.
5. Verificação da existência de mais nós pertencentes ao segmento de via:
 - a. Se existem mais nós para serem analisados volta a 1.
 - b. Caso contrário, o algoritmo chegou ao fim.

De seguida, encontra-se o diagrama de atividades (Figura 36) que ilustra de uma melhor forma o algoritmo em causa:

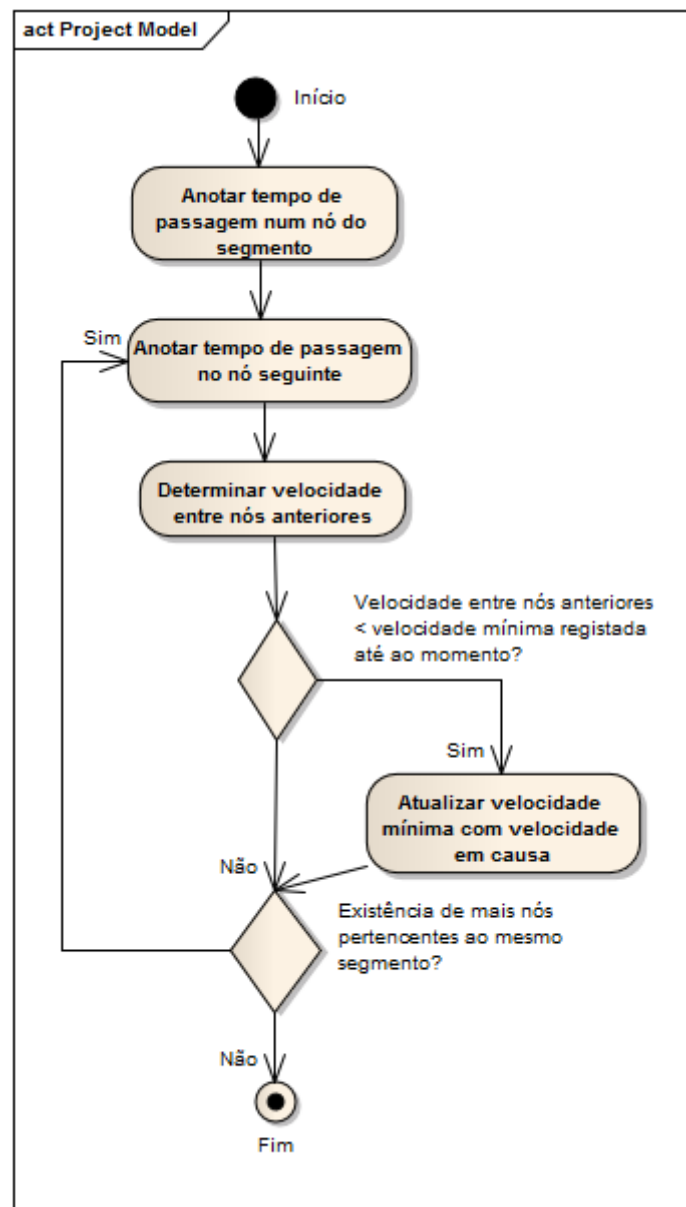


Figura 36 - Diagrama de atividades na determinação da velocidade mínima das vias

4.6.3. Inferência sobre Logs GPS para determinação dos movimentos permitidos

Os movimentos permitidos das vias dizem respeito às permissões de mudanças de direção dos segmentos de via, ou seja encontrando-se um veículo num segmento de via quais as possibilidades para entrar numa nova via. Assim, serão aplicados métodos de inferência para tal efeito.

Para a determinação dos movimentos permitidos dos segmentos de via, são importantes e considerados o último node de um segmento, bem como o primeiro node do segmento contíguo seguinte, como demonstra a Figura 37:

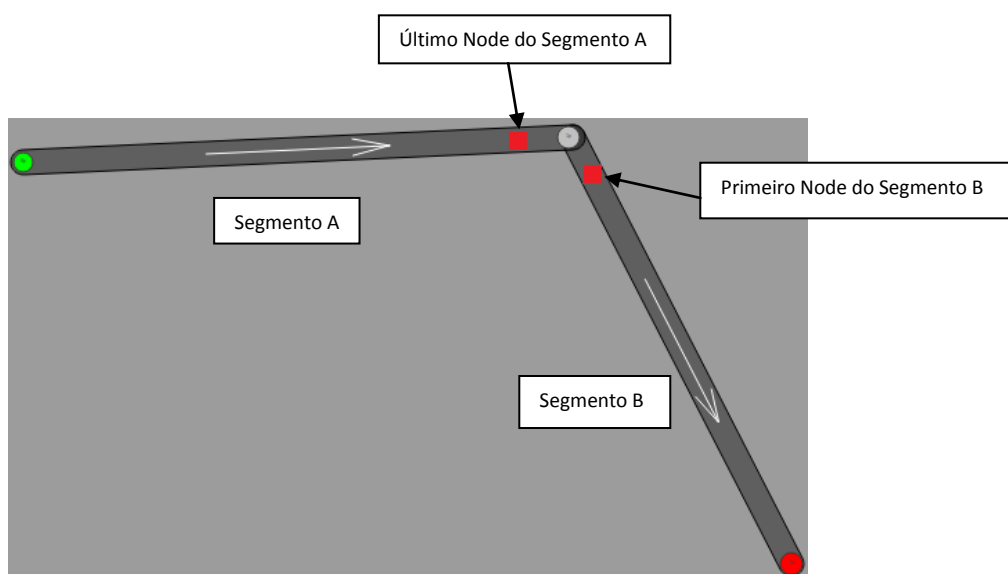


Figura 37 - Representação do movimento permitido do Segmento A para o Segmento B

O procedimento para a determinação dos movimentos permitidos baseia-se no seguinte algoritmo:

1. Análise do último nó visitado no segmento atual (SegA);
2. Análise do primeiro nó do segmento seguinte (SegB);
3. Adição de permissão no primeiro segmento (SegA) para virar para o segundo segmento (SegB);
4. Verificação da existência de mais segmentos de via:
 - 4.1. Se existem mais segmentos de via para serem analisados volta a 1;
 - 4.2. Caso contrário, termina.

Segue-se o diagrama de atividades do algoritmo em causa (Figura 38):

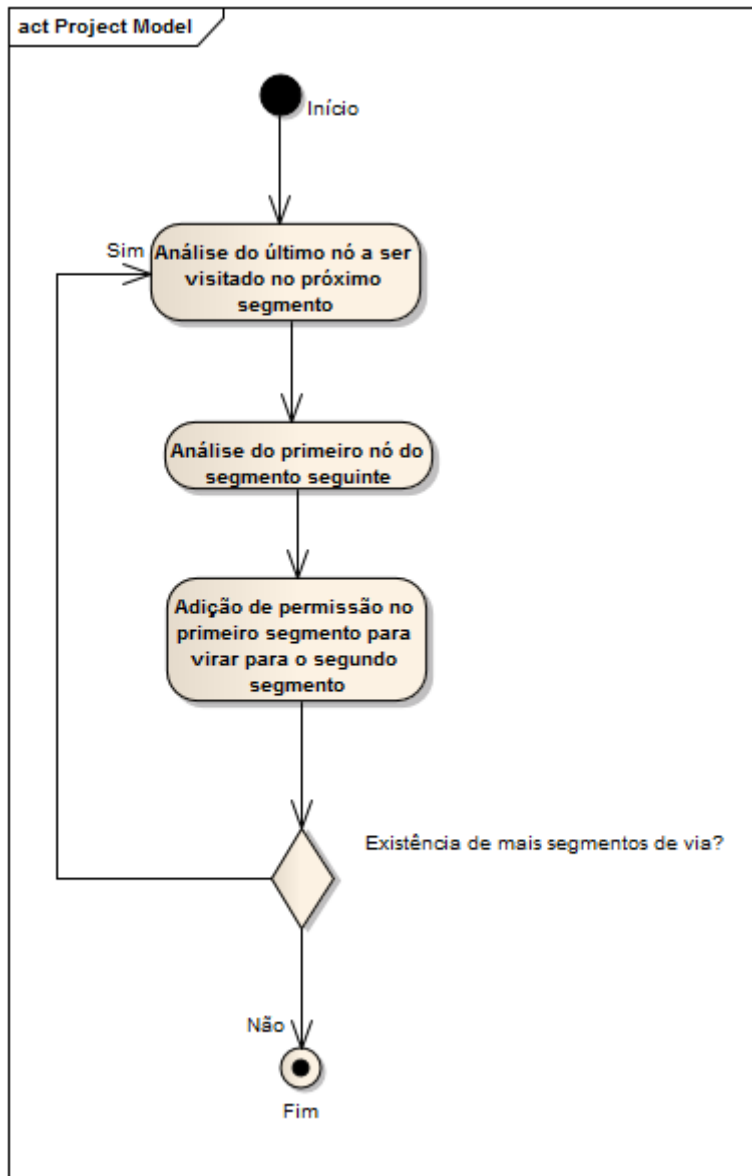


Figura 38 - Diagrama de atividades na determinação dos movimentos permitidos nas vias

4.7. Visualizador

Com o objetivo de tornar possível a visualização gráfica dos segmentos percorridos, bem como todos os pontos GPS que constituem um percurso, foi desenvolvido um visualizador, tornando possível ao utilizador ter a noção do percurso em causa.

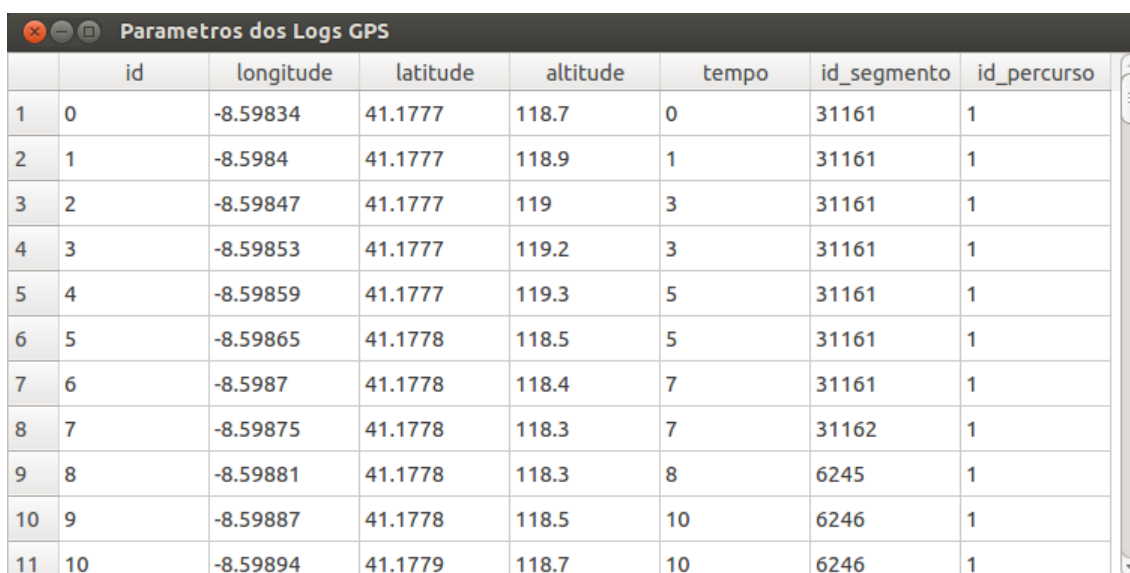
Este visualizador estabelece uma ligação à base de dados [POSSQL] para que possa posteriormente representar graficamente todo o percurso efetuado, contendo a visualização dos segmentos e nós percorridos através de todos os seus atributos como veremos já de seguida.

4.7.1. Conteúdo Tabela Nodes

Foi criada uma vista da tabela Nodes para que o utilizador observe os Nodes que compõem o seu percurso, bem como todos os seus atributos. Cada Node como já foi referido anteriormente na secção [Modelo de Dados](#) é composto pelos seguintes parâmetros:

- id – identificador do nó;
- latitude – latitude correspondente do nó;
- longitude – longitude correspondente do nó.;
- atitude – altitude correspondente do nó;
- tempo – tempo em segundos do registo do nó;
- idSegmento – identidade do segmento a que pertence o nó;
- idPercurso – identidade do percurso.

Segue-se a Figura 39, contendo um excerto dessa vista criada, através do qual o utilizador terá uma vista global dos nodes que compõem o percurso em causa:



	id	longitude	latitude	altitude	tempo	id_segmento	id_percurso
1	0	-8.59834	41.1777	118.7	0	31161	1
2	1	-8.5984	41.1777	118.9	1	31161	1
3	2	-8.59847	41.1777	119	3	31161	1
4	3	-8.59853	41.1777	119.2	3	31161	1
5	4	-8.59859	41.1777	119.3	5	31161	1
6	5	-8.59865	41.1778	118.5	5	31161	1
7	6	-8.5987	41.1778	118.4	7	31161	1
8	7	-8.59875	41.1778	118.3	7	31162	1
9	8	-8.59881	41.1778	118.3	8	6245	1
10	9	-8.59887	41.1778	118.5	10	6246	1
11	10	-8.59894	41.1779	118.7	10	6246	1

Figura 39 - Vista criada para a tabela Nodes

4.7.2. Conteúdo Tabela Segmentos

Foi criada também uma vista para os segmentos percorridos durante um percurso dando assim toda a informação relativa a esses mesmos segmentos, podendo assim ser consultado os parâmetros inferidos anteriormente.

Cada segmento é assim composto pelos seguintes parâmetros:

- id – identificador do segmento de via;
- latitude_inicio – latitude correspondente ao início do segmento de via;
- longitude_inicio – longitude correspondente ao início do segmento de via;
- latitude_fim – latitude correspondente ao fim do segmento de via;
- longitude_fim – longitude correspondente ao fim do segmento de via;
- int_sentido – sentido do segmento de via, tipo inteiro;
- string_sentido – sentido do segmento de via, tipo string;
- velocidade_média - velocidade média registada no segmento de via;
- velocidade_maxima – velocidade máxima registada no segmento de via;
- velocidade_mínima - velocidade mínima registada no segmento de via;
- comprimento – comprimento do segmento de via;
- movimentos permitidos – movimentos permitidos em cada segmento de via.

Segue-se a Figura 40 ilustrando essa vista criada:



	id	longitude_inicio	latitude_inicio	longitude_fim	latitude_fim	entido_in	sentido_string	velocidade_media	velocidade_maxima	velocidade_minia	comprim
1	31161	-8.59809	41.1776	-8.59871	41.1778	3	Segmento com 2 sentidos	33.3408	39.487	8.60507	55.5173
2	31162	-8.59871	41.1778	-8.59879	41.1778	3	Segmento com 2 sentidos	0	0	0	7.62385
3	6245	-8.59879	41.1778	-8.59882	41.1778	3	Segmento com 2 sentidos	0	0	0	5.34113
4	6246	-8.59882	41.1778	-8.59911	41.1779	1	Sentido do ponto do inicio para o fim	4.95359	6.08851	1.40666	26.7616
5	6247	-8.59911	41.1779	-8.59924	41.1779	1	Sentido do ponto do inicio para o fim	5.79107	10.0204	2.88657	10.7967
6	6330	-8.59924	41.1779	-8.59918	41.1781	1	Sentido do ponto do inicio para o fim	17.1562	17.1562	17.1562	14.8452
7	6331	-8.59918	41.1781	-8.59906	41.1783	1	Sentido do ponto do inicio para o fim	25.8437	27.9819	15.0601	28.5746
8	6133	-8.59906	41.1783	-8.59899	41.1784	1	Sentido do ponto do inicio para o fim	0	0	0	9.51629
9	6134	-8.59899	41.1784	-8.5989	41.1785	2	Sentido do ponto do final para o in...	21.5288	21.5288	21.5288	20.3294
10	6136	-8.59889	41.1786	-8.59888	41.1786	1	Sentido do ponto do inicio para o fim	0	0	0	9.50084
11	30945	-8.59888	41.1786	-8.5988	41.1788	1	Sentido do ponto do inicio para o fim	0	0	0	17.3882
12	30946	-8.5988	41.1788	-8.59865	41.1791	1	Sentido do ponto do inicio para o fim	32.3517	48.2992	16.2528	38.3523

Figura 40 - Vista criada para a tabela Segmentos de Via

4.7.3. Representação Gráfica do Percurso

Para além da criação das vistas contendo o conteúdo dos Nodes e Segmentos de Via foi também criada uma representação gráfica desses mesmos elementos.

Esta interface gráfica foi implementada recorrendo à linguagem *Qt/C++*, em que é feita uma leitura direta da base de dados.

Para a representação dos Nodes é então importante a leitura das suas coordenadas (latitude, longitude) para uma posterior representação. Nesta representação foi utilizada uma função previamente definida, *LocalCartesian*, providenciada pela biblioteca *GeographicLib* [LCART],

em que fornecendo um ponto geográfico de referência a função calcula a posição em metros num par de coordenadas (x,y).

Para tal, foi dado como ponto de referência o ponto central do percurso e assim calculadas todas as coordenadas em metros para todos os nodes.

Na representação dos Segmentos de Via é também feita uma leitura direta da base de dados, e são lidos e tidos em consideração os seguintes parâmetros:

- Longitude de início do segmento de via;
- Latitude de início do segmento de via;
- Longitude de fim do segmento de via;
- Latitude de fim do segmento de via.

Neste caso é também aplicada a função *LocalCartesian* [LCART], e assim determinado o ponto inicial e final de cada segmento de via em metros, para uma posterior representação.

A representação é feita através de linhas, utilizando a função *QLineF* providenciada pela respetiva classe [QLF].

Apresentam-se se seguida as figuras 41, 42, 43 demonstrando esse mesmo visualizador:

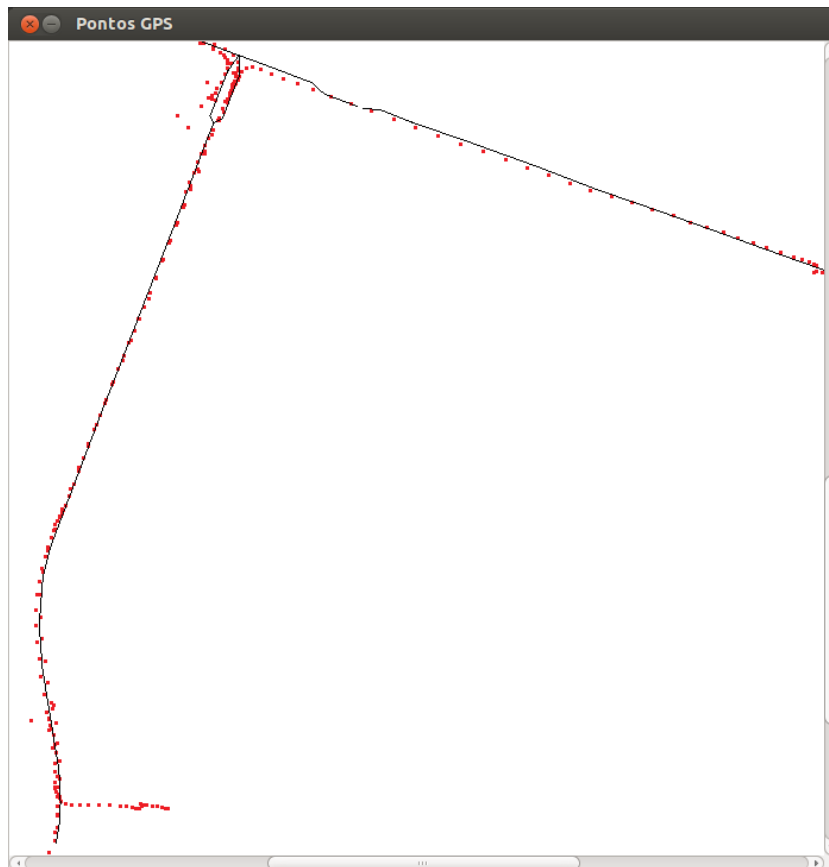


Figura 41 - Visualizador Gráfico (Exemplo 1)

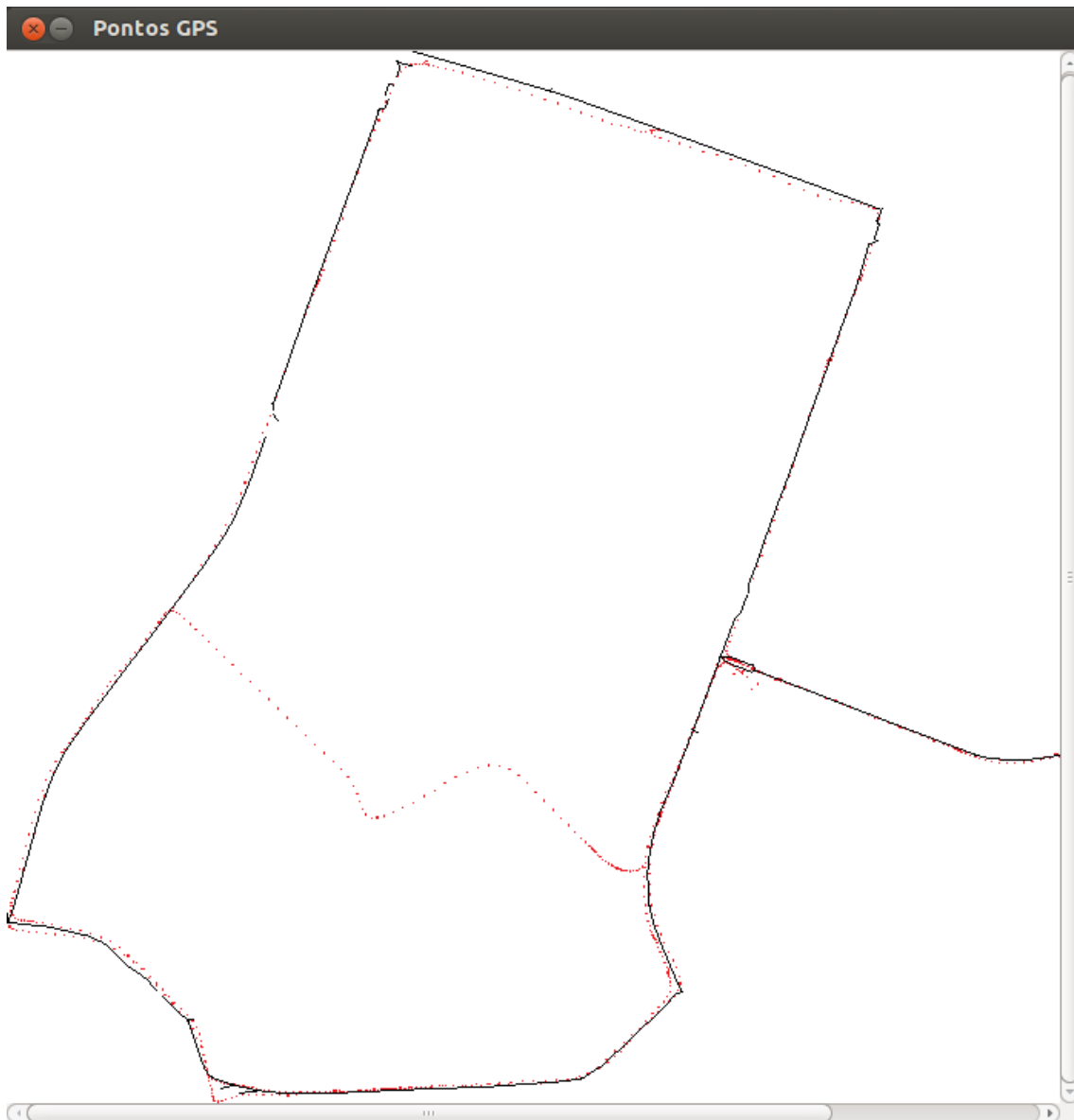


Figura 42 - Visualizador Gráfico (Exemplo 2)

Para além da visualização geral do percurso realizado, é ainda disponibilizado ao utilizador consultar os parâmetros individuais de cada Node. Para tal, bastará que selecione “clitando” o Node que pretende saber a sua informação, e assim ter acesso a todos os seus atributos.

Segue-se a Figura 43, ilustrando essa situação:

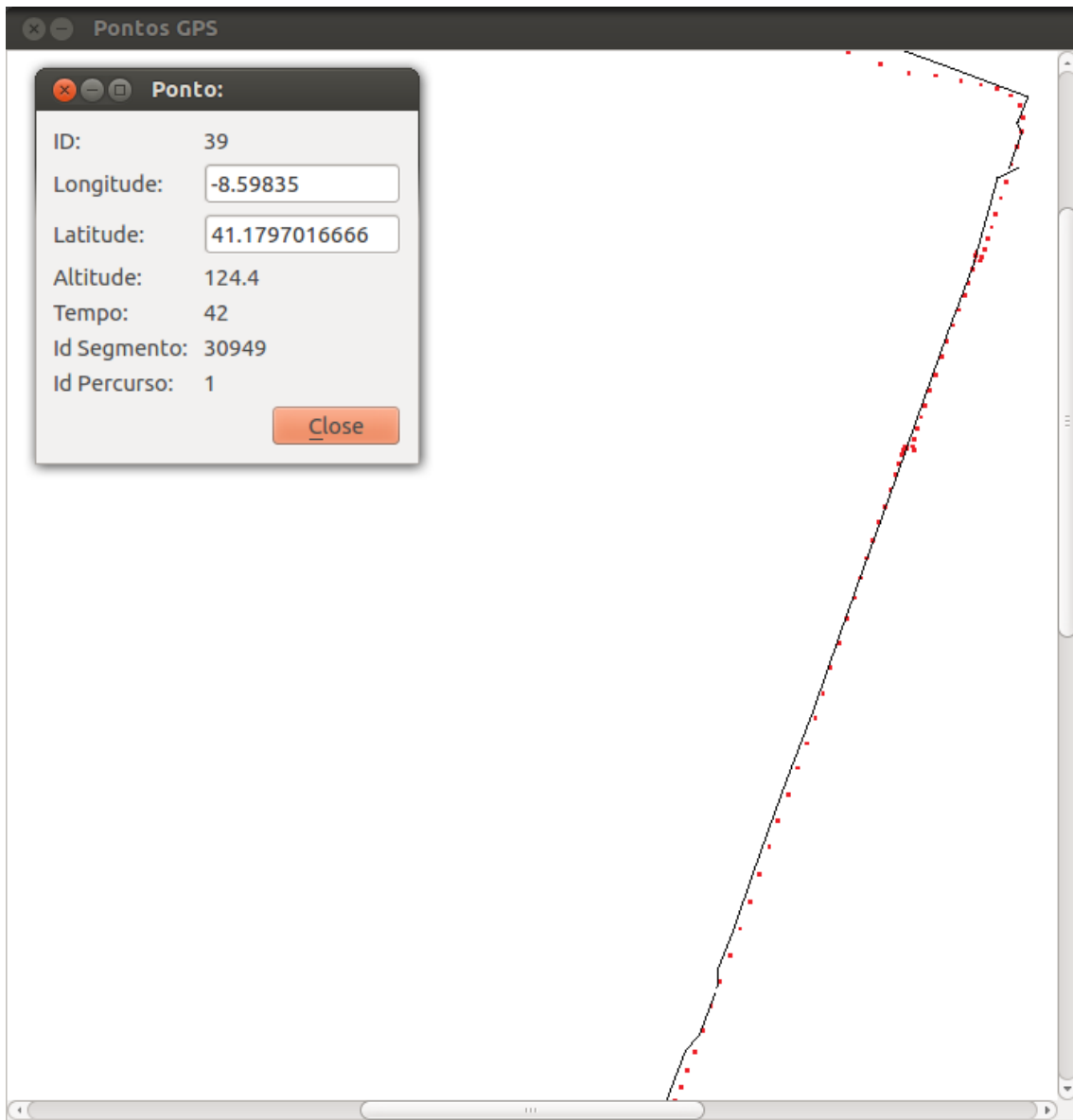


Figura 43 - Visualização dos atributos de um Node em específico

4.8. Exportação para SUMO

Estando completadas as fases anteriores da Implementação, segue-se a última etapa do projeto, referente à exportação do modelo para o simulador SUMO. Para tal foram criados diversos ficheiros do tipo *.xml* caracterizando a rede [SUS]. As secções seguintes apresentam a forma como esses mesmos ficheiros foram construídos.

4.8.1. Construção de Nodes

O primeiro passo para caracterizar uma rede, será identificar os Nodes que caracterizam essa mesma rede [SUS]. Ou seja, um Node representará assim um ponto, caracterizado por uma abcissa e uma ordenada. Estes Nodes representarão de seguida o início/fim de um segmento de via.

Assim, para a construção do ficheiro *nodes.xml* foi utilizado o algoritmo representado na Figura 44:

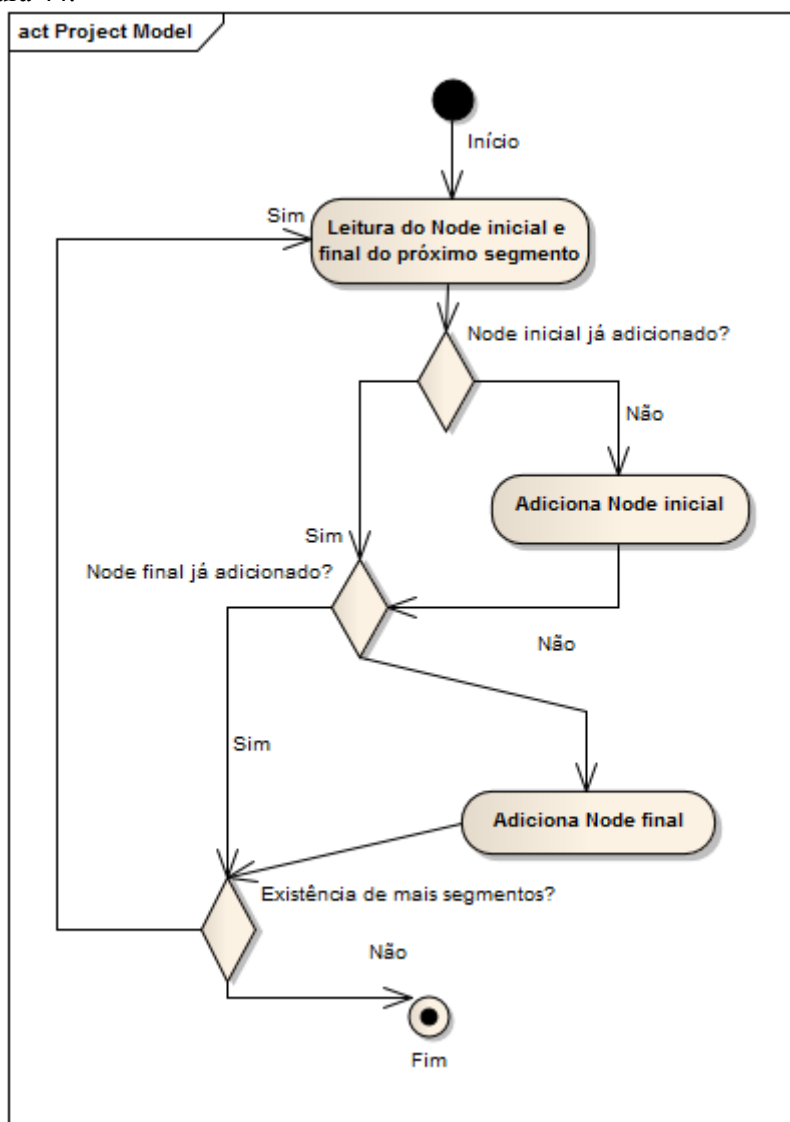


Figura 44 - Algoritmo usado na construção do ficheiro *node.xml*

De seguida apresenta-se a Figura 45, contendo um breve exemplo de um ficheiro *node.xml* utilizado pelo simulador SUMO [SUS]:

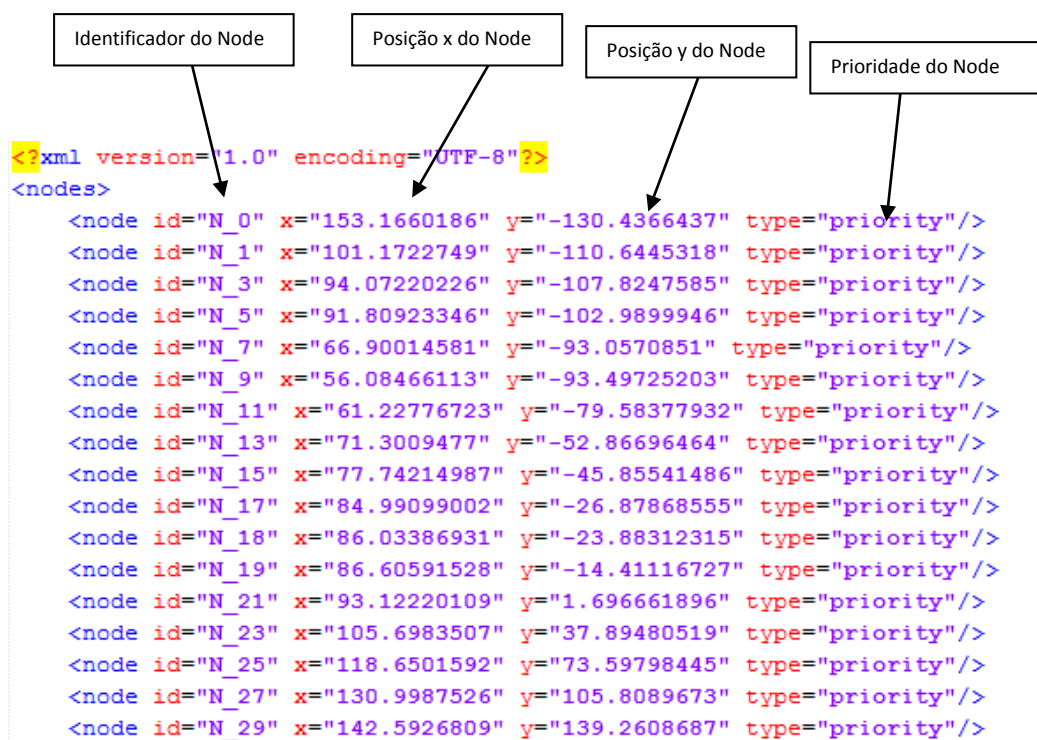


Figura 45 - Exemplo de um ficheiro node.xml usado pelo simulador SUMO

4.8.2. Construção de Edges

Definidos os Nodes que constituem uma rede, procedeu-se de seguida à construção do ficheiro *edges.xml*, contendo este ficheiro todos os segmentos que constituem a rede [SUS3] [SUS].

Para a sua construção, foi importante o uso das identidades dos Nodes que constituem cada segmento. Essa construção foi elaborada tendo em conta o algoritmo representado na Figura 46:

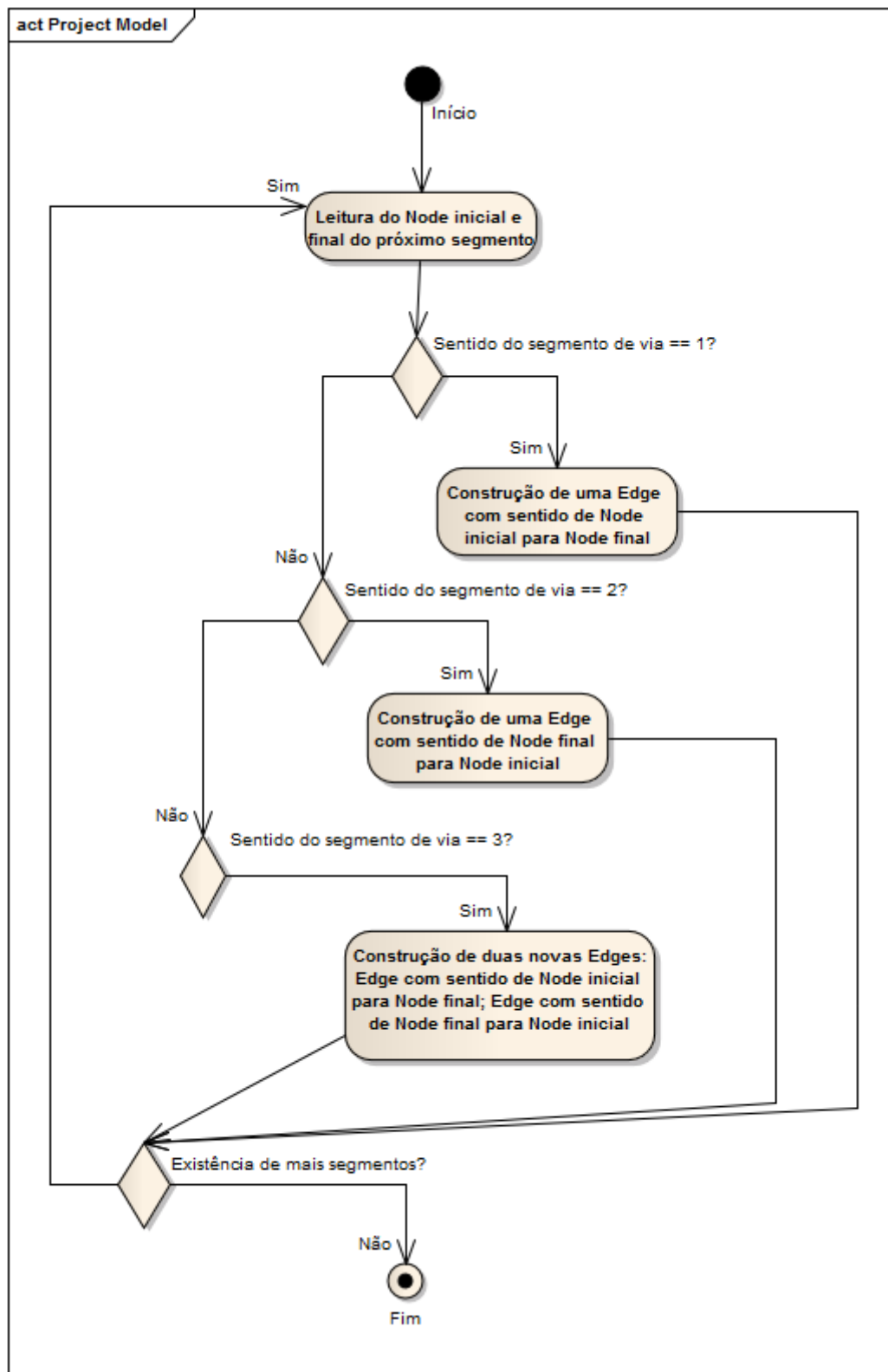


Figura 46 - Algoritmo usado na construção do ficheiro edge.xml

Poderá ser consultado de seguida (Figura 47) um breve exemplo de um ficheiro *edge.xml* utilizado pelo simulador SUMO [SUS]:

Identificador da Edge	Nó de origem	Nó de destino	Prioridade	Número de linhas	Velocidade máxima
-----------------------	--------------	---------------	------------	------------------	-------------------

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<edges>
  <edge id="0s_f" from="N_0" to="N_1" priority="1" numLanes="1" speed="10.96860581"/>
  <edge id="1s_f" from="N_1" to="N_0" priority="1" numLanes="1" speed="10.96860581"/>
  <edge id="2s_f" from="N_1" to="N_3" priority="1" numLanes="1" speed="11.95637610"/>
  <edge id="3s_f" from="N_3" to="N_1" priority="1" numLanes="1" speed="8.113535768"/>
  <edge id="4s_f" from="N_3" to="N_5" priority="1" numLanes="1" speed="6.125426457"/>
  <edge id="5s_f" from="N_5" to="N_3" priority="1" numLanes="1" speed="7.124235578"/>
  <edge id="6s_f" from="N_5" to="N_7" priority="1" numLanes="1" speed="1.375996746"/>
  <edge id="8s_f" from="N_7" to="N_9" priority="1" numLanes="1" speed="2.783437614"/>
  <edge id="10s_f" from="N_9" to="N_11" priority="1" numLanes="1" speed="4.765617256"/>
  <edge id="12s_f" from="N_11" to="N_13" priority="1" numLanes="1" speed="7.178809817"/>
  <edge id="14s_f" from="N_13" to="N_15" priority="1" numLanes="1" speed="0"/>
  <edge id="16s_f" from="N_17" to="N_15" priority="2" numLanes="1" speed="5.980232167"/>
  <edge id="18s_f" from="N_18" to="N_19" priority="1" numLanes="1" speed="0"/>
  <edge id="20s_f" from="N_19" to="N_21" priority="1" numLanes="1" speed="0"/>
  <edge id="22s_f" from="N_21" to="N_23" priority="1" numLanes="1" speed="13.41644505"/>

```

Figura 47 - Exemplo de um ficheiro edge.xml usado pelo simulador SUMO

4.8.3. Construção de Connections

Tendo já sido construído o ficheiro referente aos Nodes e posteriormente o ficheiro relacionado com as Edges, procedeu-se à construção de um ficheiro contendo todas as conexões existentes, ou seja, todos os segmentos de via que estão ligados [SUS].

Para a construção do ficheiro em questão foi utilizado o seguinte algoritmo, representado na Figura 48:

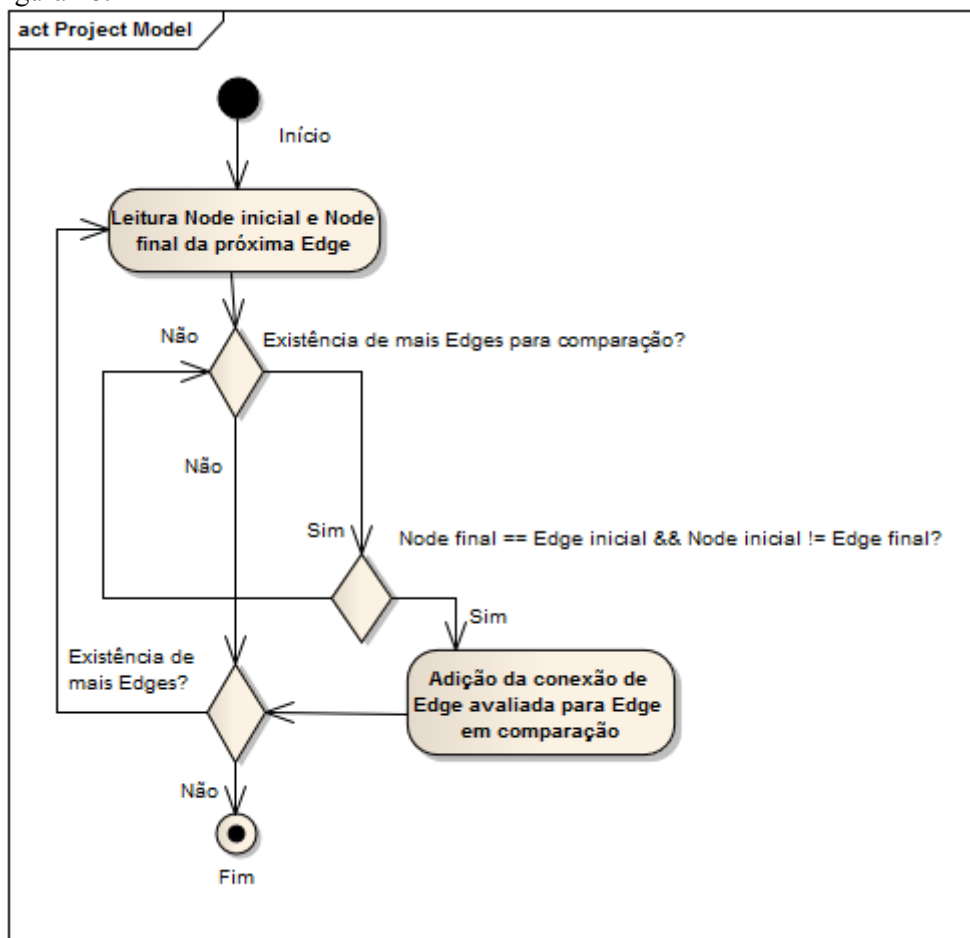


Figura 48 - Algoritmo usado na construção do ficheiro connection.xml

Segue-se um pequeno exemplo (Figura 49) de um ficheiro *connection.xml* [SUS3]:

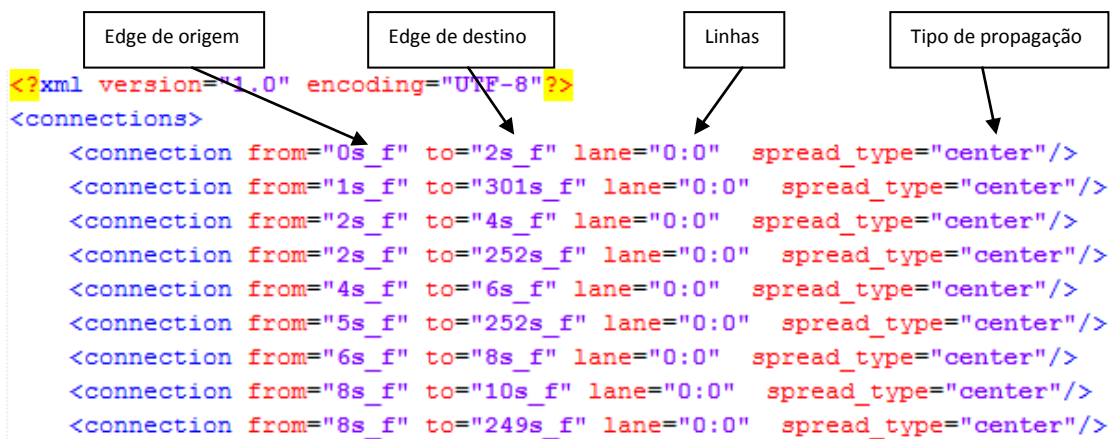


Figura 49 – Exemplo de um ficheiro *connection.xml* usado pelo simulador SUMO

4.8.4. Construção de Routes

Por último, foi construído um ficheiro contendo as rotas que constituem a rede em causa. Para tal, foi apenas feita uma leitura sequencial de todos os segmentos de via percorridos durante um percurso, e foram sucessivamente criadas essas mesmas rotas.

De seguida encontra-se um exemplo do ficheiro em causa [SUS]:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<routes>
  <vtypeDistribution id="typedist0">
    <vtype id="type10" accel="0.8" lenght="7.5" maxspeed="39.486981" probability="0.5" color="0,1,0" guiShape="passenger"/>
    <vtype id="type1000" accel="1.8" lenght="18.75" maxspeed="39.486981" probability="0.5" vclass="transport" guiWidth="2.6" guiShape="bus" color="0.5,0,0"/>,
  </vtypeDistribution>
  <routeDistribution id="routedist0">
    <route id="route0" edges="0s_f" probability="100"/>
  </routeDistribution>
  <flow id="0" type="typedist0" route="routedist0" begin="0" vehsPerHour="900" end="10000"/>
  <route id="autonomous_route0" edges="0s_f" probability="100"/>
  <vtype id="autonomous_type0"/>
  <vehicle id="autonomous0" type="autonomous_type0" route="autonomous_route0" depart="0" color="1,0,1"/>

  <vtypeDistribution id="typedist1">
    <vtype id="type11" accel="0.8" lenght="7.5" maxspeed="39.486981" probability="0.5" color="0,1,0" guiShape="passenger"/>
    <vtype id="type1001" accel="1.8" lenght="18.75" maxspeed="39.486981" probability="0.5" vclass="transport" guiWidth="2.6" guiShape="bus" color="0.5,0,0"/>,
  </vtypeDistribution>
  <routeDistribution id="routedist1">
    <route id="route1" edges="1s_f" probability="100"/>
  </routeDistribution>
  <flow id="1" type="typedist1" route="routedist1" begin="0" vehsPerHour="900" end="10000"/>
  <route id="autonomous_route1" edges="1s_f" probability="100"/>
  <vtype id="autonomous_type1"/>
  <vehicle id="autonomous1" type="autonomous_type1" route="autonomous_route1" depart="0" color="1,0,1"/>
</routes>
```

Figura 50 - Exemplo de um ficheiro route.xml usado pelo simulador SUMO

4.8.5. Construção do Modelo de Rede

Encontrando-se todos os ficheiros anteriores criados deverá ser implementado um ficheiro interno para ser lido pelo simulador SUMO, contendo toda a rede que está a ser modelada. Esse ficheiro poderá ser obtido automaticamente utilizando para isso a aplicação *NETCONVERT* [NETCON].

Para tal terão que ser fornecido à aplicação o diretório onde se encontram os ficheiros previamente criados nas secções anteriores, nomeadamente [NETCON]:

- *node.xml*;
- *edge.xml*;
- *connection.xml*;

Segue-se um exemplo do comando utilizado para obter o ficheiro em causa:

```
./netconvert  
--node-files=/home/brunomagalhaes/Desktop/copia/visu-build-desktop/editor.nod.xml  
--edge-files=/home/brunomagalhaes/Desktop/copia/visu-build-desktop/editor.edg.xml  
--connection-files=/home/brunomagalhaes/Desktop/copia/visu-build-desktop/editor.con.xml  
--output-file=/home/brunomagalhaes/Desktop/copia/visu-build-desktop/editor.net.xml
```

De seguida encontra-se a Figura 51, contendo um breve excerto desse ficheiro criado:


```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<!-- generated on Thu May 10 08:59:19 2012 by SUMO netconvert Version 0.14.0
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.sf.net/xsd/netconvertConfiguration.xsd">

  <input>
    <node-files value="/home/brunomagalhaes/Desktop/copia/visu-build-desktop/editor.nod.xml"/>
    <edge-files value="/home/brunomagalhaes/Desktop/copia/visu-build-desktop/editor.edg.xml"/>
    <connection-files value="/home/brunomagalhaes/Desktop/copia/visu-build-desktop/editor.con.xml"/>
  </input>

  <output>
    <output-file value="/home/brunomagalhaes/Desktop/copia/visu-build-desktop/editor.net.xml"/>
  </output>

</configuration>
-->

<net version="0.13" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.sf.net/xsd/net_file.xsd">

  <location netOffset="716.16,567.41" convBoundary="0.00,0.00,1432.22,1134.85" origBoundary="-716.16,-567.41,716.06,567.44" projParameter="!"/>

  <edge id=":N_0_0" function="internal">
    <lane id=":N_0_0_0" index="0" speed="11.75" length="0.10" shape="869.92,438.51 869.91,438.52"/>
  </edge>
  <edge id=":N_0_1" function="internal">
    <lane id=":N_0_1_0" index="0" speed="12.54" length="4.82" shape="869.92,438.51 868.47,438.19 867.78,437.58 867.87,436.66 868.72,435.44"/>
  </edge>
  <edge id=":N_0_2" function="internal">
    <lane id=":N_0_2_0" index="0" speed="11.75" length="0.10" shape="868.74,435.43 868.72,435.44"/>
  </edge>
  <edge id=":N_1_0" function="internal">
    <lane id=":N_1_0_0" index="0" speed="5.48" length="0.10" shape="817.92,458.31 817.94,458.30"/>
  </edge>

```

Figura 51 - Exemplo de um ficheiro net.xml criado

4.8.6. Ficheiro de Configuração

Por último, deverá ser criado um ficheiro de configuração que será lido pelo simulador SUMO contendo toda a rede criada e modelada [SUS2]. A criação desse ficheiro é bastante simples, consiste apenas num ficheiro do tipo *.sumo.cfg* em que são indicados apenas os ficheiros de Modelo de Rede (*net.xml*) como também o ficheiro das Rotas do Modelo (*rou.xml*) e a duração da simulação em causa.

Apresenta-se na Figura 52 a ilustração do ficheiro em causa [SUS3]:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<configuration>
  <files>
    <net-file>editor.net.xml</net-file>
    <route-files value="editor.rou.xml"/>
  </files>
  <simulation>
    <begin>0</begin>
    <end>10000</end>
  </simulation>
</configuration>
```

Figura 52 - Ficheiro de configuração do simulador SUMO

Estando este ficheiro criado, bastará apenas usar o simulador SUMO e abrir este ficheiro descrito anteriormente, tendo assim uma representação do modelo de rede criado como se pode constatar pelas figuras 53, 54, 55:

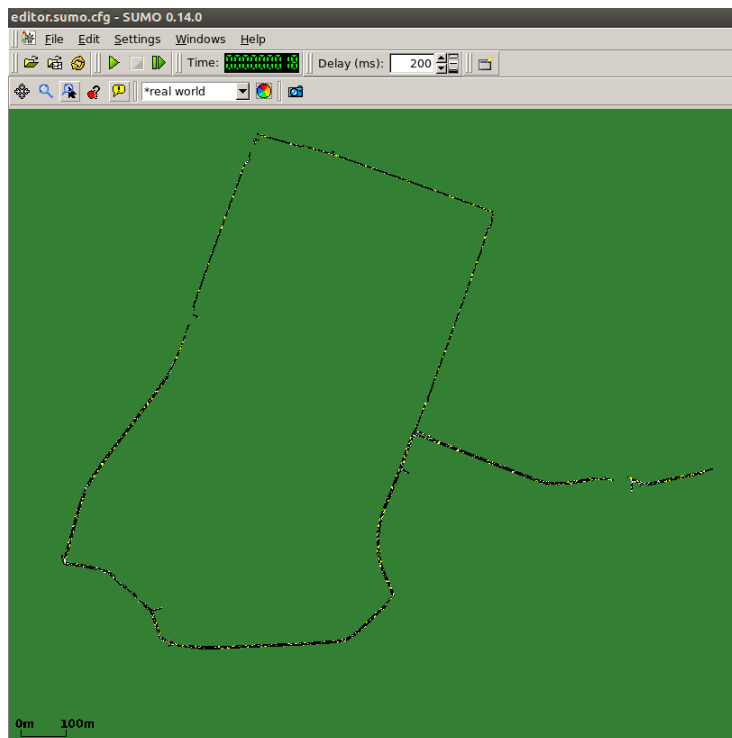


Figura 53 - Simulador de toda a rede utilizando simulador o SUMO – Exemplo 1

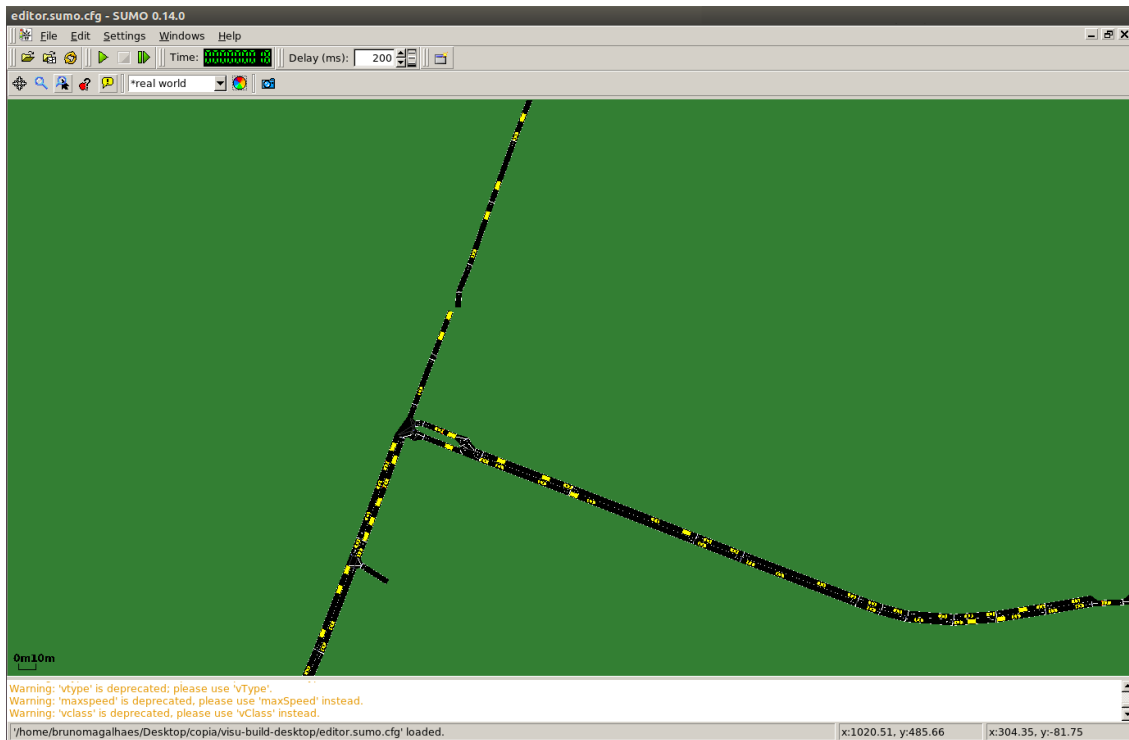


Figura 54 - Simulador de uma parte da rede utilizando o simulador SUMO – Exemplo 2

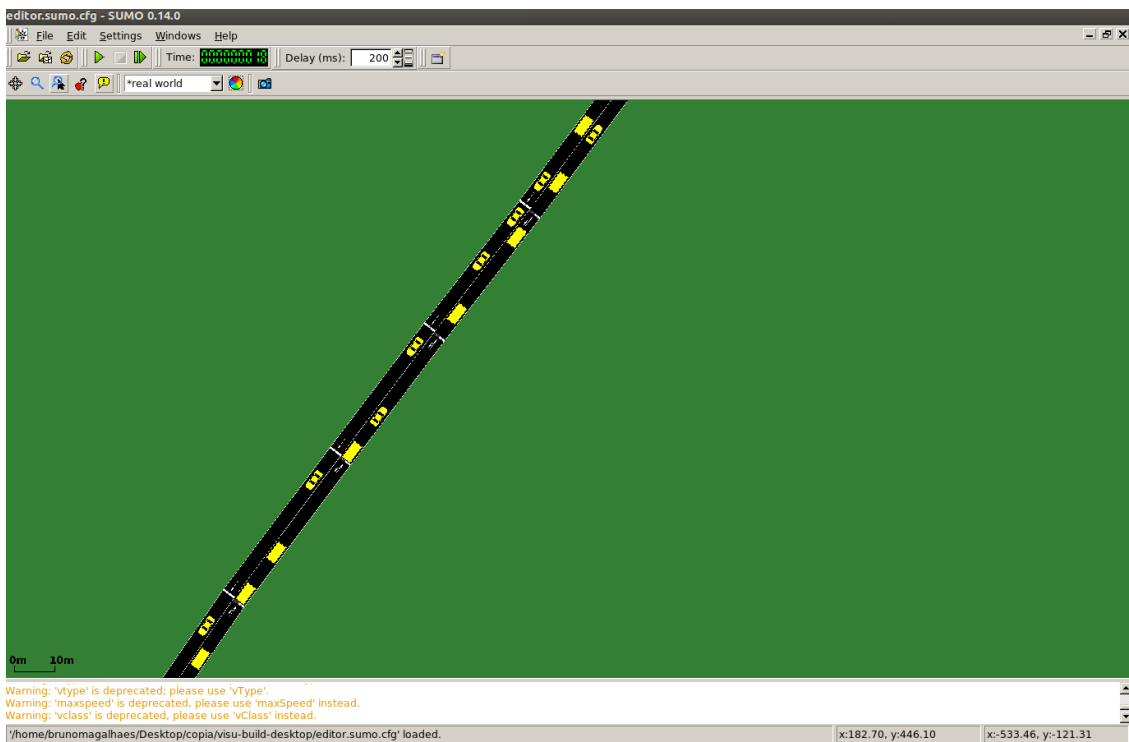


Figura 55 - Simulador de uma parte da rede utilizando o simulador SUMO – Exemplo 3

5. Testes e Avaliação de Resultados

Nesta secção serão apresentados os testes realizados com o intuito de avaliar o modelo de rede gerado, e serão assim avaliados os parâmetros que foram anteriormente inferidos.

Para tal, serão feitas comparações diretas do modelo gerado com o modelo real, utilizando para tal a visualização do percurso realizado utilizando tecnologias como o Google Earth e OpenStreetMap.

De seguida apresenta-se na Figura 56 um percurso realizado utilizando o Google Earth [GEAR] para a visualização de todo o trajeto:

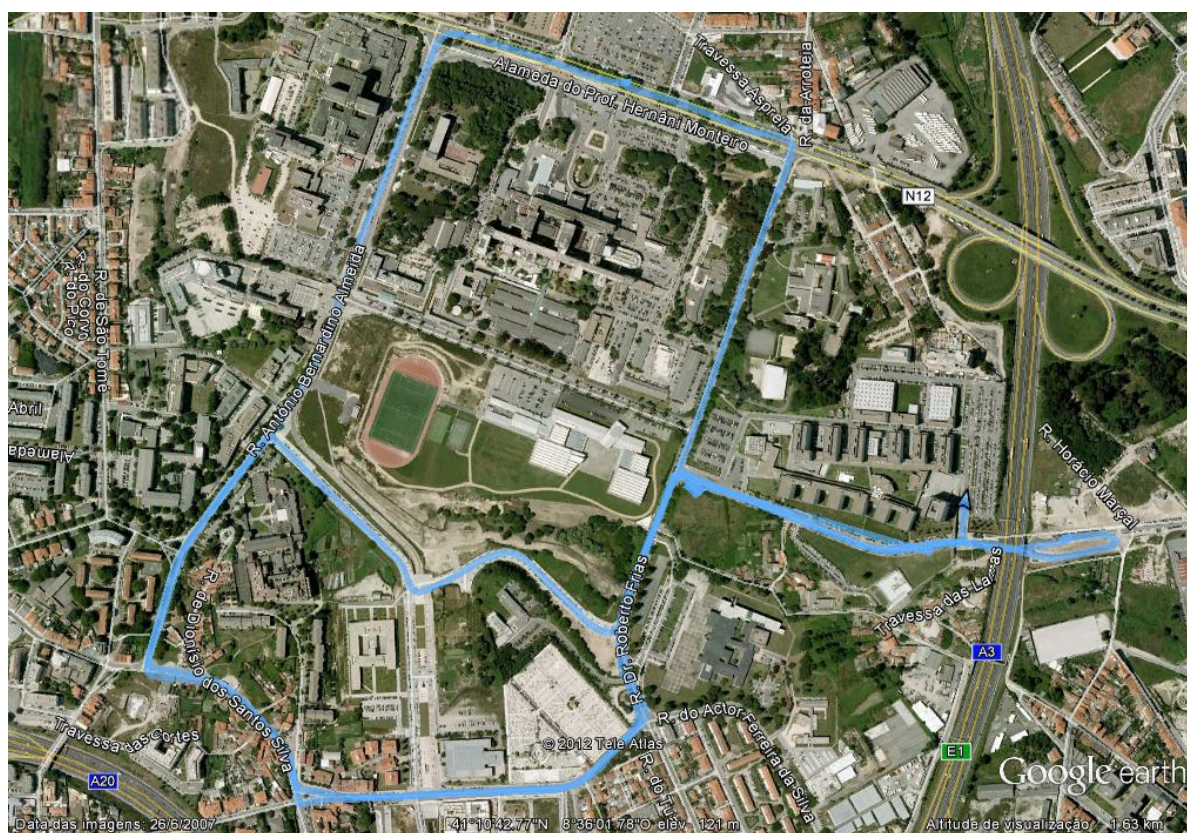


Figura 56 - Percurso realizado com visualização no Google Earth

O percurso encontra-se demarcado a azul, e como se pode observar este percurso caracteriza-se pela passagem nas seguintes ruas:

- Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro;
- Rua Dr. Roberto Frias;
- Estrada da Circunvalação;
- Rua Dr. Bernardino Almeida;
- Rua Dr. Manuel Pereira da Silva.

5.1. Testes Realizados sobre o Sentido dos Segmentos de Via

Com o intuito de avaliar os sentidos inferidos dos segmentos de via serão apresentadas imagens do modelo gerado de diversos segmentos de via e comparados com imagens do modelo real correspondente.

Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro

Analisando a Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro, que representa a rua frontal da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), esta representa uma via com dois sentidos como poderemos observar através do OpenStreetMap ilustrado na Figura 57:

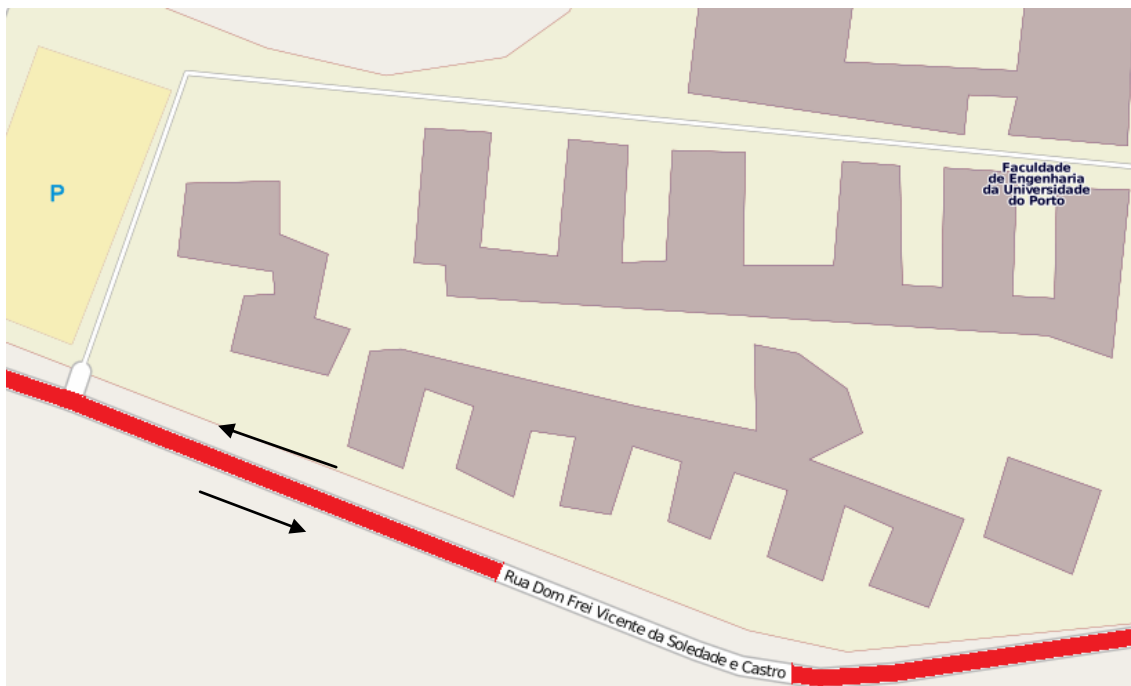


Figura 57- Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro representada no OpenStreetMap

Assim poderemos ver pelo modelo gerado que o sentido da rua em questão foi bem inferido, visto que se encontra com os dois sentidos permitidos, em exceção nos pontos de bifurcação para mudança de direção para a rua Doutor Roberto Frias, como se pode constatar pela Figura 58:

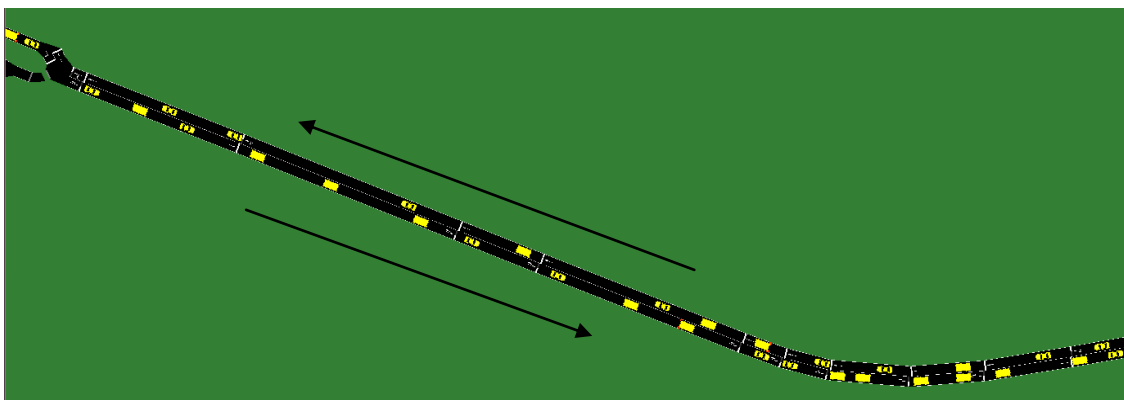


Figura 58 - Representação da Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro no simulador SUMO

Rua Doutor Roberto Frias

De seguida analisaremos a Rua Doutor Roberto Frias. Esta terá que ser analisada em duas fases, visto que uma parte desta rua permite apenas um sentido, enquanto outra parte permite a circulação em ambos os sentidos. Para uma melhor visualização da rua em questão seguem-se as figuras 59, 60:

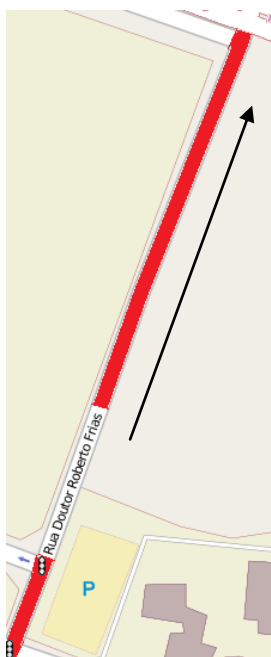


Figura 59 - Rua Doutor Roberto Frias representada no OpenStreetMap – 1 sentido



Figura 60 - Rua Doutor Roberto Frias representada no OpenStreetMap - 2 sentidos

Para a parte da rua Dr. Roberto Frias correspondente a uma via com apenas um sentido (Figura 59), poderemos concluir que o sentido da via em questão foi bem inferido como poderemos observar pelas figuras 61, 63 que se seguem.

Poder-se-á também concluir que a segunda parte correspondente da rua em questão foi também bem inferida, visto que apresenta a possibilidade de se circular em ambos os sentidos, como poderemos observar pelas ilustrações 62 e 64.

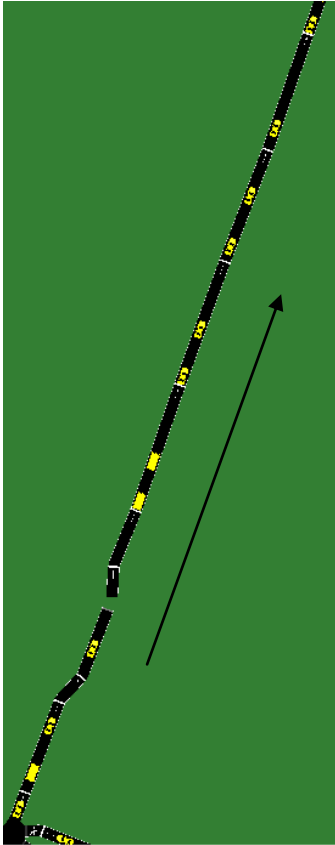


Figura 61 - Representação da Rua Dr. Roberto Frias no simulador SUMO – 1 sentido (Parte 1)

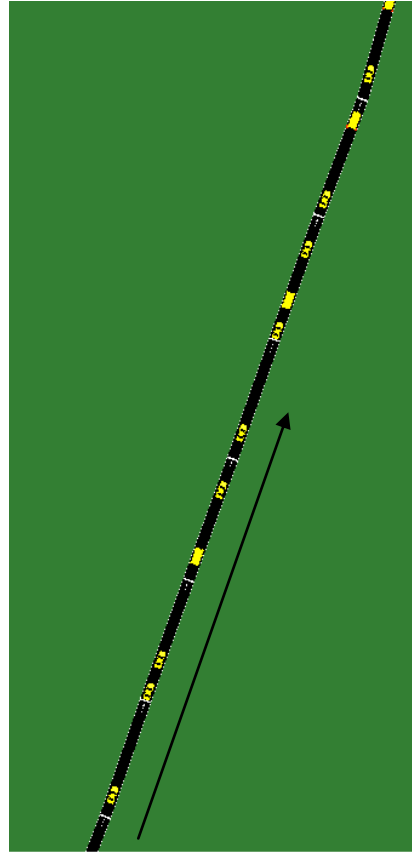


Figura 63 - Representação da Rua Dr. Roberto Frias no simulador SUMO – 1 sentido (Parte 2)

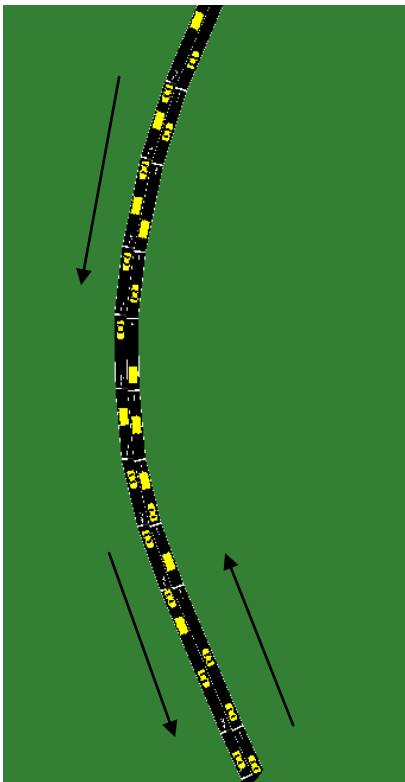


Figura 62 - Representação da Rua Dr. Roberto Frias no simulador SUMO – 2 sentidos (Parte1)

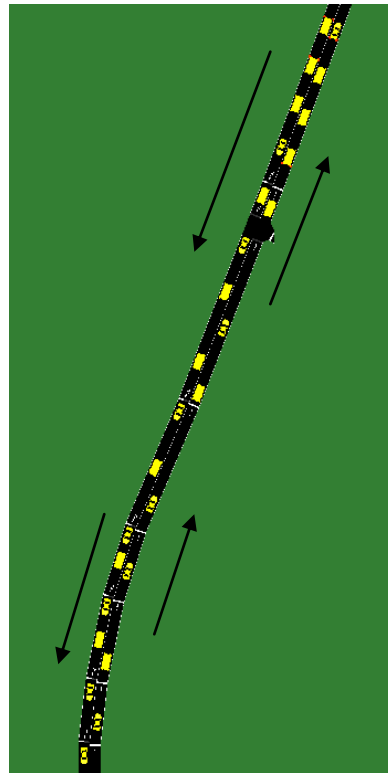


Figura 64 - Representação da Rua Dr. Roberto Frias no simulador SUMO – 2 sentidos (Parte2)

Estrada da Circunvalação

A próxima rua a ser analisada diz respeito à Estrada da Circunvalação, sendo possível de seguida visualizar a estrada em questão na Figura 65:

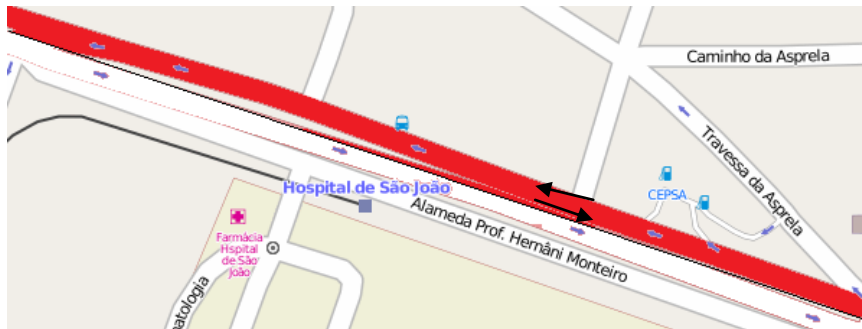


Figura 65 - Estrada da Circunvalação representada no OpenStreetMap

A estrada em causa permite a circulação nos 2 sentidos. Contudo, o percurso em questão foi apenas realizado num único sentido como se pode constatar pelas figuras 66, 67:

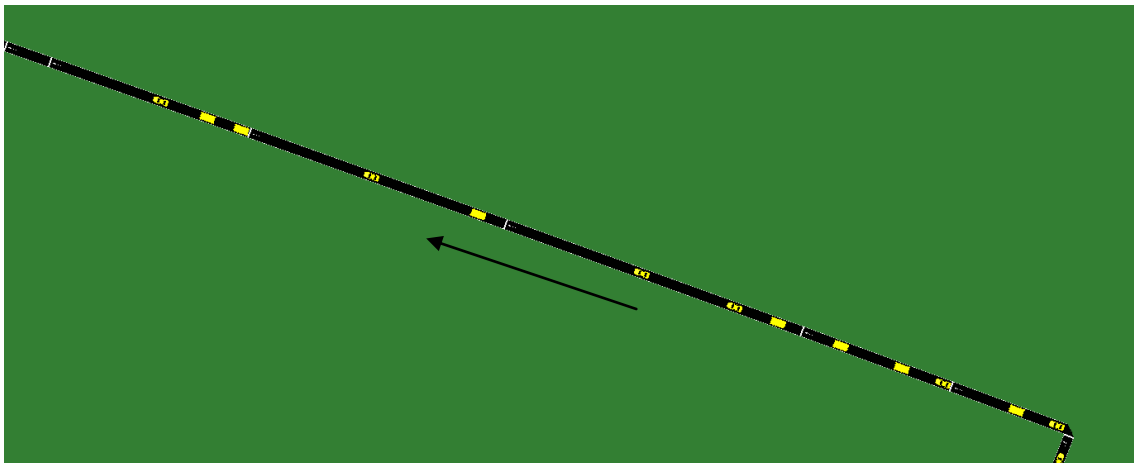


Figura 66 - Representação da Estrada da Circunvalação no simulador SUMO - Parte 1

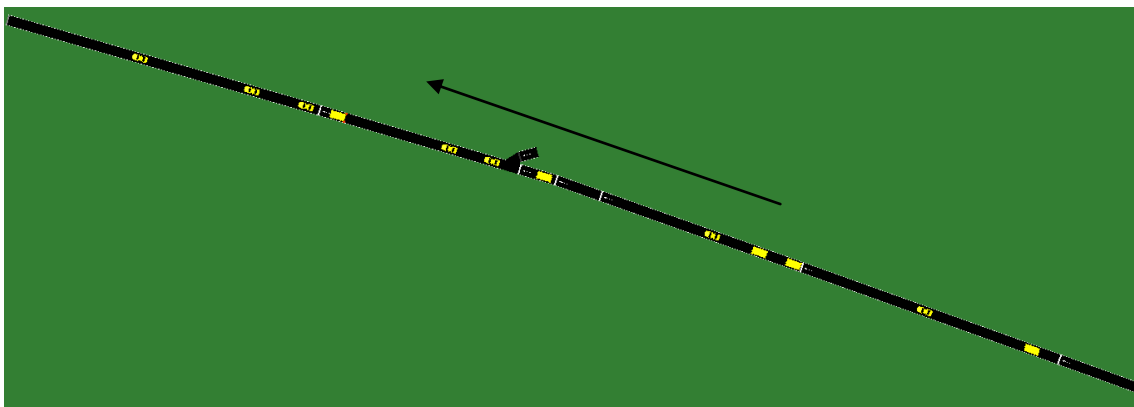


Figura 67 - Representação da Estrada da Circunvalação no simulador SUMO - Parte 2

Rua Doutor António Bernardino de Almeida

A próxima rua a ser analisada, Rua Doutor António Bernardino de Almeida, terá também que ser analisada em 2 fases, visto que uma parte da rua em questão permite apenas um sentido de tráfego, enquanto outra parte da mesma, permite os 2 sentidos de movimentação de tráfego. Tal facto poderá ser constatado pelas figuras 68, 69 que se seguem:

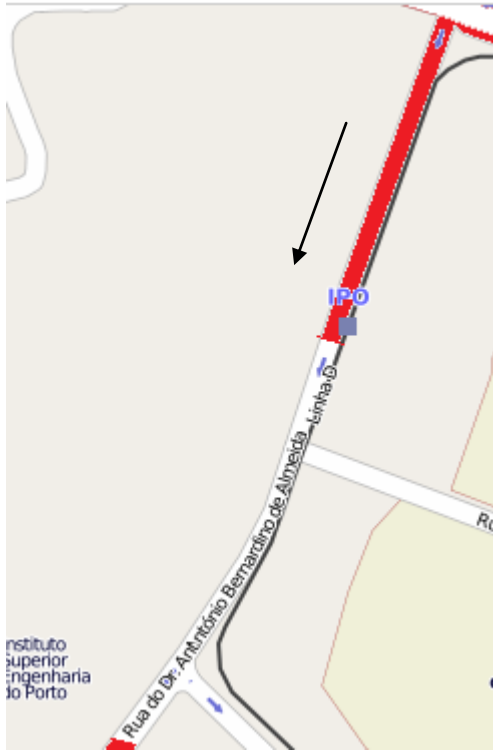


Figura 68 - Rua Doutor António Bernardino de Almeida representada no OpenStreetMap – 1 sentido

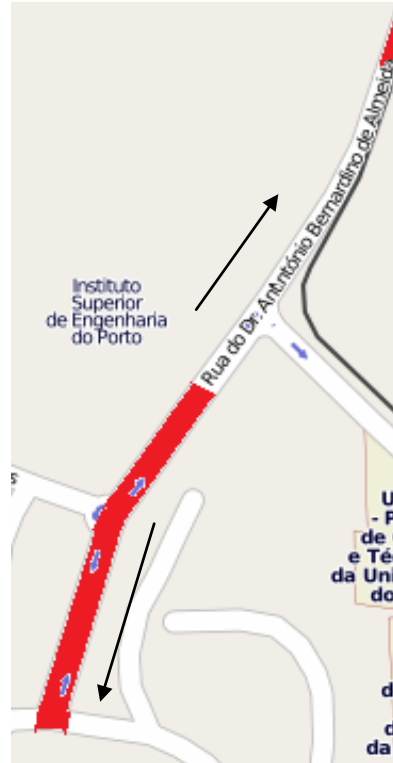


Figura 69 - Rua Doutor António Bernardino de Almeida representada no OpenStreetMap – 2 sentidos

Também aqui o sentido foi inferido com sucesso como se pode observar pelas figuras 70, 71 que se seguem:

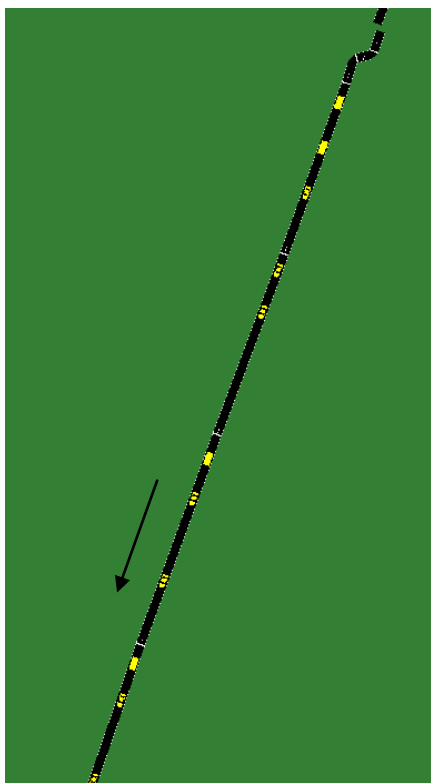


Figura 70 - Representação da Rua Doutor António Bernardino de Almeida no simulador SUMO - 1 sentido (Parte 1)

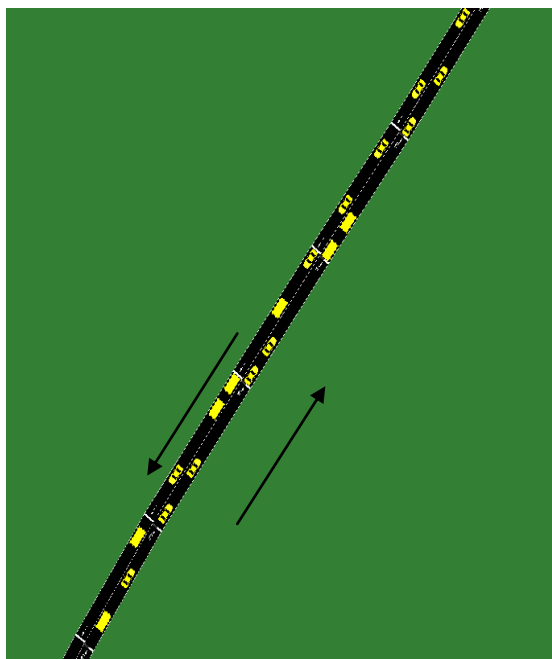


Figura 71 - Representação da Rua Doutor António Bernardino de Almeida no simulador SUMO - 2 sentidos (Parte 2)

Rua Doutor Manuel Pereira da Silva

Segue-se a rua Doutor Manuel Pereira da Silva, esta rua possibilita em toda a sua extensão o movimento em ambos os sentidos. Segue-se a Figura 72, ilustrando a rua em questão:



Figura 72 - Rua Doutor Manuel Pereira da Silva representada no OpenStreetMap

O sentido nesta rua foi também bem inferido, como se poderá constatar nas figuras 73, 74:

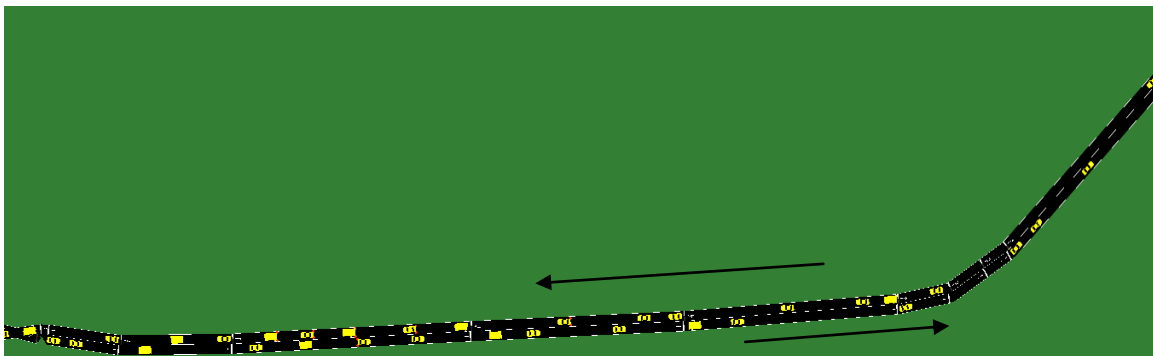


Figura 73 - Representação da Rua Doutor Manuel Pereira da Silva no simulador SUMO – Parte 1

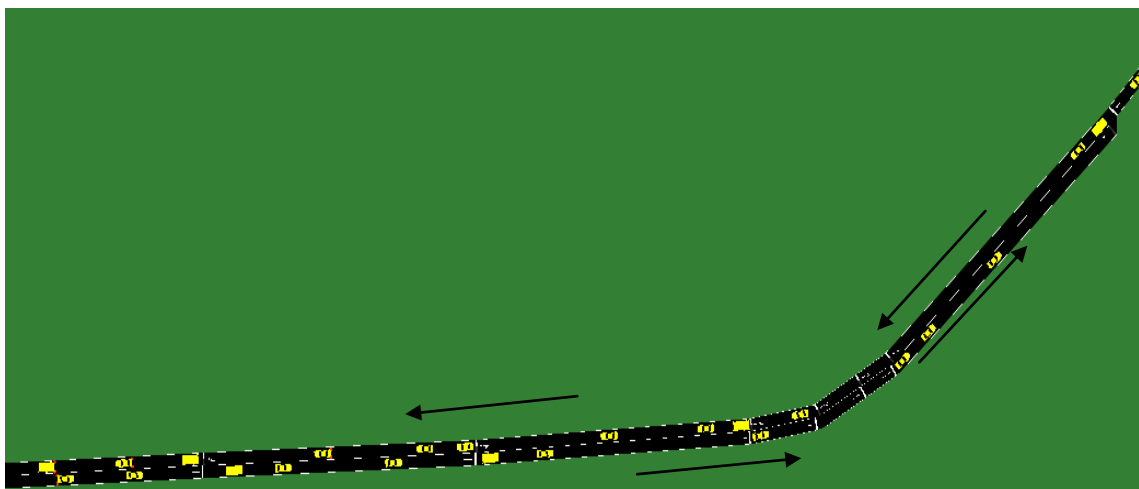


Figura 74 - Representação da Rua Doutor Manuel Pereira da Silva no simulador SUMO – Parte 2

5.2. Testes Realizados sobre as Velocidades dos Segmentos de Via

De seguida, serão analisadas as velocidades inferidas em todos os segmentos percorridos no percurso em questão. Todos estes segmentos pertencem a cinco ruas principais, como se pôde observar na secção anterior. Será então feita a análise de cada uma dessas ruas.

Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro

A primeira rua a ser analisada será a Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro, que se encontra numa zona onde não existe um limite mínimo de velocidade, e apresenta um limite máximo de 50 km/h, visto encontrar-se dentro da cidade.

Contudo, não significa que o condutor tenha sempre respeitado esse limite máximo permitido por lei.

A Tabela 10 apresenta o conjunto dos segmentos que constituem a rua em causa, com as velocidades máximas, médias e mínimas inferidas de cada segmento.

Tabela 10 - Segmentos constituintes da Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro com as respetivas velocidades

Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro			
Id Segmento	Velocidade Máxima	Velocidade Média	Velocidade Mínima
31161	39,48698092	23,40026371	8,605067578
31162	0	0	0
6246	19,77117956	5,007232171	1,385482783
6247	10,02037541	5,791073639	0
6100	32,19715249	12,09551817	0
6101	0	0	0
31153	36,95435306	15,25714596	8,466241184
31152	20,76094239	16,52141625	9,136934273
31151	21,63424234	7,561632713	1,728087488
31150	19,59577958	7,403399722	0
31149	34,46505525	21,39859614	16,15561997
32676	18,68760123	9,343800617	0
26264	42,2270293	8,983798351	0
13831	0	0	0
13832	38,3707888	12,72154482	12,50750288
13833	39,62757203	8,656522059	0
11894	0	0	0
11895	34,20577473	13,27122255	7,876022891
11896	0	0	0
26263	36,37677457	26,87408136	17,82995511
31154	35,4604311	23,77444643	17,15487766
31155	46,21848966	19,92313926	12,90814371
31156	21,44652411	6,796327336	0
31157	8,530059973	2,663896935	0
31158	47,00594758	23,1902918	1,253283036
31159	32,90186127	21,26613106	14,92852283
31160	45,14500058	26,12821546	12,58705195
6099	9,634772608	4,817386304	0
30697	0	0	0
2445	18,02674287	10,88595806	9,094626173
26279	0	0	0
Médias	29,53130964	13,90554337	6,31739248

Como podemos observar nos segmentos em que foi possível determinar as velocidades (ou seja naqueles cujo o veículo passou em mais que 1 instante de tempo no segmento de via), a velocidade máxima global é superior à média global, e esta superior à mínima, o que por si já seria de esperar.

Podemos também concluir que nesta rua foi sempre respeitado o limite da velocidade máxima, visto que em caso algum é ultrapassado a velocidade de 50 km/h.

Outra conclusão que se poderá retirar é que na altura em que o percurso foi realizado certamente estaria uma intensidade de tráfego considerável visto que em 31 segmentos que compõem a via, regista-se a velocidade mínima de 0 km/h em 9 segmentos, ou seja em cerca de 29% dos segmentos, este esteve parado em pelo menos um instante de tempo.

Rua Dr. Roberto Frias

A próxima rua a ser analisa, refere-se à Rua Dr. Roberto Frias. Esta rua encontra-se também dentro de uma localidade, ou seja não existe limite mínimo de velocidade e um limite máximo de 50 km/h. A Tabela 11 apresenta assim, todos os segmentos de via pertencentes à rua em questão e as respetivas velocidades inferidas:

Tabela 11 - Segmentos constituintes da Rua Dr. Roberto Frias com as respetivas velocidades

Rua Doutor Roberto Frias			
Id Segmento	Velocidade Máxima	Velocidade Média	Velocidade Mínima
6330	17,15622212	17,15622212	17,15622212
6331	25,84371534	18,65462986	15,06011036
6133	0	0	0
6134	21,5288358	21,5288358	21,5288358
30946	48,29920218	24,26380948	16,25284699
30947	46,87349639	31,55553289	23,90163321
30948	44,64970563	44,64970563	44,64970563
30949	44,65019853	44,01265646	43,37595412
30950	35,62214188	27,22568338	19,33673946
30951	31,82059305	22,4401371	14,80039438
30952	20,26452453	2,29424012	0
30953	29,60076287	19,1536055	12,9798974
30954	26,28790124	16,59534721	11,63467388
30955	21,68789573	1,17438142	0
5988	0	0	0
3286	15,11651231	15,11651231	15,11651231
3287	21,40710412	21,40710412	21,40710412
19859	30,01101364	28,97197176	14,74322383
29712	26,95275986	14,73131907	9,259872858
29713	37,62948426	15,82563677	0
29714	38,32012531	20,22925642	0
29715	14,33086854	6,738147348	0
29716	20,86585643	17,74405553	12,86997065
29717	39,3661935	29,19109178	19,01599005
29718	39,6215597	29,507947	11,31167751
29719	41,80076613	20,9578465	8,146504114
29720	21,61386666	9,946342534	4,277121457
29721	50,8826902	31,04035514	10,07113941
29722	52,30821592	26,99208843	12,03234381
13696	16,30886973	6,415637635	3,237711078
13697	44,56043543	20,16199817	2,80860157
Médias	31,90970748	20,88558957	13,27499262

Ao contrário da rua anterior aqui a velocidade máxima não foi respeitada, mas foi ultrapassada muito ligeiramente, cerca de 2,3 km/h. Aqui, também a velocidade máxima global é superior à velocidade média global e esta superior à velocidade mínima global.

Podemos concluir que na altura em que se fez o percurso não se encontrava um grande tráfego rodoviário visto que o condutor apenas esteve parado (pelo menos num instante de tempo) em 15% dos segmentos que percorreu.

Estrada da Circunvalação

Segue-se a Estrada da Circunvalação, esta embora tenha condições rodoviárias para se circular com mais velocidade, apresenta-se com as regras de uma rua dentro das localidades tais como as ruas anteriores em análise. Assim, esta está limitada a uma velocidade máxima de 50 km/h.

De seguida encontra-se a Tabela 12 contendo a estrada em causa para uma análise posterior:

Tabela 12 - Segmentos constituintes da Estrada da Circunvalação com as respetivas velocidades

Estrada da Circunvalação			
Id Segmento	Velocidade Máxima	Velocidade Média	Velocidade Mínima
30419	29,42616295	21,90084146	16,83986704
30420	49,71667701	30,07150298	22,46617742
30421	65,71607844	43,3100135	29,72978213
30422	51,16338708	5,166074612	0
30423	41,59570589	24,46267627	14,80394518
4375	0	0	0
4376	53,12342857	35,09940234	26,08764905
23275	23,99599713	23,99599713	23,99599713
23276	45,00397403	6,650345604	0
31874	20,22981556	20,22981556	20,22981556
3128	0	0	0
Médias	42,21902518	23,43185216	17,12813706

Como já seria de esperar, e sendo esta uma estrada com ótimas condições de circulação, a velocidade máxima imposta de 50 km/h nem sempre é respeitada, e neste caso em concreto foi ultrapassada em cerca de 16 km/h como poderemos observar na Tabela 12.

Sendo esta uma das principais estradas da cidade do Porto e não se encontrando esta congestionada, como foi o caso em que se efetuou o percurso, é uma excelente via de circulação. No caso em concreto conseguiu-se obter uma velocidade média global próxima dos 24 km/h, bastante superior às ruas analisadas anteriormente.

Durante o percurso, o veículo esteve parado em 2 instantes devendo-se estas paragens certamente aos sinais luminosos que a estrada possui.

Tal como nos casos anteriores, também nesta estrada a velocidade máxima global é a superior, sendo a velocidade mínima global a inferior das três velocidades em questão.

Rua Dr. António Bernardino de Almeida

A rua que se segue, Rua Dr. António Bernardino de Almeida, encontra-se também dentro de uma localidade e sujeita às regras de trânsito consequentes.

Pode-se observar de seguida na Tabela 13, os segmentos constituintes da rua em questão com as suas respetivas velocidades inferidas:

Tabela 13 - Segmentos constituintes da Rua Dr. António Bernardino de Almeida com as respetivas velocidades

Rua Dr. António Bernardino de Almeida			
Id Segmento	Velocidade Máxima	Velocidade Média	Velocidade Mínima
31888	0	0	0
30286	46,24703854	35,82211865	22,32472021
30287	47,58591928	37,86372229	24,29757568
30288	45,1800727	13,93227716	2,362579299
30289	34,2165849	22,66383372	16,17553277
30290	35,62213428	21,43361284	17,88701465
4992	0	0	0
4994	18,36317037	18,36317037	18,36317037
31227	0	0	0
31226	42,427546	27,92252997	20,672591
31225	44,94335881	29,76945961	22,18796136
31222	0	0	0
31221	47,4995648	10,14730321	0
31220	51,40473567	23,66893352	23,38086383
31219	52,38194458	23,05029892	6,634895776
31218	53,74546461	19,71485528	16,17252791
31217	52,38208313	35,79394721	13,82661474
31216	52,07560633	31,7147287	19,31189063
31215	45,92697493	28,59962566	24,48332241
24433	0	0	0
24432	48,83672409	24,41836205	0
24431	0	0	0
24430	49,77903112	33,45543833	23,40735199
24429	43,5897044	33,50430839	14,80052942
24428	17,29171734	5,76390578	0
22399	0	0	0
Médias	43,65786189	25,13697009	15,06784958

Durante o percurso nesta rua, como se pode observar na Tabela 13 o limite de velocidade máxima foi ultrapassado em diversos segmentos. O percurso nesta rua foi efetuado com uma boa fluência, visto que este apenas parou em 3 segmentos. As consequências dessa boa fluência reflete-se na velocidade média global que ronda os 25 km/h, que para uma estrada dentro de uma localidade é bastante positivo.

Rua Dr. Manuel Pereira da Silva

Por último, a análise realizada à Rua Dr. Manuel Pereira da Silva, que por sua vez também se encontra dentro de uma localidade apenas com a regra de limite de velocidade máxima de 50km/h.

Segue-se a Tabela 14 para uma posterior análise:

Tabela 14 - Segmentos constituintes da Rua Dr. Manuel Pereira da Silva com as respectivas velocidades

Rua Dr.Manuel Pereira da Silva			
Id Segmento	Velocidade Máxima	Velocidade Média	Velocidade Mínima
13671	17,21733788	5,739112627	0
13670	32,332995	15,54819991	5,28338923
14484	0	0	0
14483	41,01041894	20,50520947	0
14480	0	0	0
14479	19,56740475	9,783702374	0
5223	0	0	0
5222	17,73458719	8,636417551	0
29916	0	0	0
8728	38,06938245	20,48362147	13,86242554
5446	0	0	0
5445	28,38328036	14,39112171	0
5444	12,83441057	0,6033326	0
5443	6,286246555	2,095415518	0
5442	14,94068239	0,372716239	0
2446	0	0	0
8019	25,2509543	17,26481319	13,30805259
30698	31,66611532	16,69616187	7,403007324
30699	33,20496615	20,69561478	10,8022589
30700	30,24936024	9,99610783	0
30701	45,3200323	18,82355104	1,101729629
30702	45,27579981	28,4540974	17,57978876
30703	43,55833517	30,03355679	16,50877841
19857	0	0	0
19858	46,81538818	22,99944763	4,446272712
Médias	29,42876098	14,6179	5,01642795

A velocidade máxima neste caso foi sempre respeitada, sendo atingido uma velocidade máxima de cerca de 47 km/h num dos segmentos de via percorridos.

Neste caso e como se pode observar o veículo encontrou-se parado em diversos segmentos, devido a uma grande intensidade de tráfego rodoviário.

Médias Globais

Com o intuito de ter uma comparação global de todas as ruas analisadas anteriormente, segue-se a Tabela 15 contendo as velocidades globais de cada rua em causa:

Tabela 15 - Velocidades Médias de todas as ruas do percurso

	Velocidade Máxima Global	Velocidade Média Global	Velocidade Mínima Global
Rua Don Frei Vicente da Soledade e Castro	29,53130964	13,90554337	6,31739248
Rua Doutor Roberto Frias	31,90970748	20,88558957	13,27499262
Estrada da Circunvalação	42,21902518	23,43185216	17,12813706
Rua Dr. António Bernardino de Almeida	43,65786189	25,13697009	15,06784958
Rua Dr.Manuel Pereira da Silva	29,42876098	14,6179	5,01642795

Como seria de esperar as velocidades máximas globais em todas as estradas encontram-se abaixo de 50km/h visto tratarem-se todas elas de ruas situadas dentro de localidades, podendo assim concluir-se que as velocidades máximas se encontram bem inferidas, de encontro ao que seria de esperar.

Por outro lado, as estradas em localidades são aquelas que não possuem uma velocidade mínima de circulação (salvo raras exceções) ao contrário do que pode acontecer em vias rápidas, autoestradas, itinerários principais. Também aqui se pode verificar que em todas as estradas não haveria um limite mínimo de circunvalação, visto que em nenhum dos casos a velocidade mínima global chegou sequer aos 20km/h.

5.3. Testes Realizados sobre Movimentos Permitidos

Os testes realizados para avaliar os movimentos permitidos serão também realizados sobre as mesmas ruas analisadas anteriormente.

Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro

O condutor encontrando se na Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro poderá entrar na Rua Doutor Roberto Frias em dois sentidos como se pode observar na Figura 75:

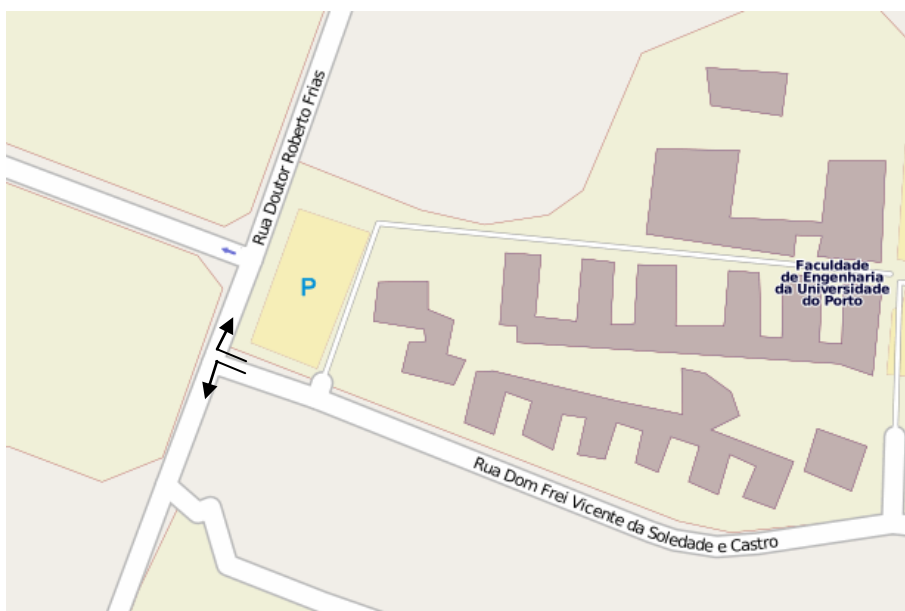


Figura 75 – Movimentos reais permitidos na Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro

Poder-se-á observar que se obteve esse resultado (após aplicação de métodos de inferência) consultando a base de dados armazenada. Encontrando-se o condutor no último segmento da Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro poderão ser tomados dois segmentos de via, como se pode observar pela seguinte Tabela 16:

Tabela 16- Resultado dos movimentos permitidos inferidos na rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro

Id Segmento	Sentido	Movimentos Permitidos (Id Segmento)
31162 – Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro	2 Sentidos	6245 – Rua Dr. Roberto Frias, Sentido Sul -> Norte 6101 - Rua Dr. Roberto Frias, Sentido Norte -> Sul

Rua Dr. Roberto Frias (Parte 1)

O condutor chegando ao fim da rua em questão poderá entrar na Estrada da Circunvalação, em ambos os sentidos como se pode observar pela Figura 76:



Figura 76 - Movimentos reais permitidos na Rua Dr. Roberto Frias (Parte 1)

Contudo, o percurso foi efetuado apenas num sentido da Estrada da Circunvalação como se pode observar pela Tabela 17:

Tabela 17 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Rua Dr. Roberto Frias (Parte 1)

Id Segmento	Sentido	Movimentos Permitidos (Id Segmento)
426 – Rua Dr. Roberto Frias	1 Sentido	30419 – Estrada da Circunvalação, Sentido Este -> Oeste

Estrada da Circunvalação

Encontrando-se o condutor na Estrada da Circunvalação a movimentar-se no sentido Este > Oeste, e acabado de passar o Hospital São João, poderá entrar na Rua do Dr. António Bernardino de Almeida como se pode verificar pela Figura 77:

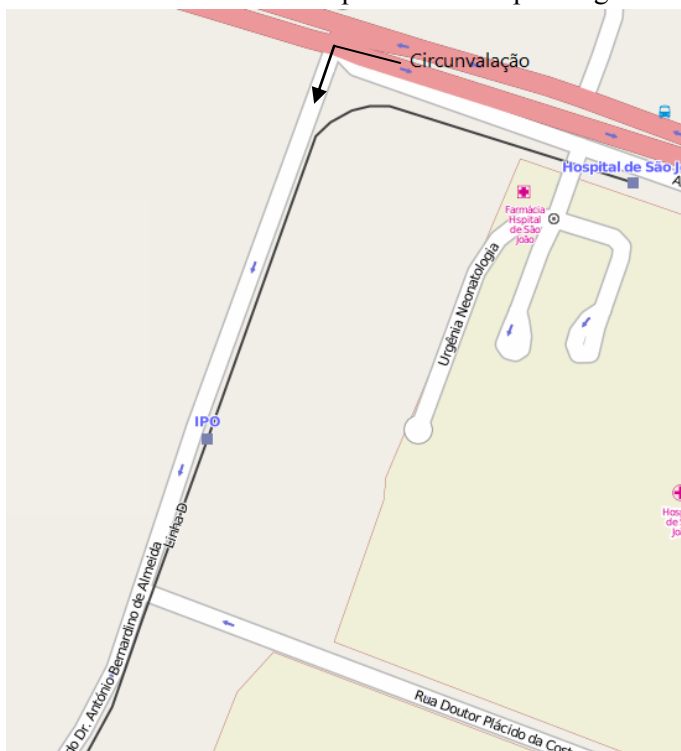


Figura 77 - Movimentos reais permitidos na Estrada da Circunvalação

Poderemos ver que os movimentos permitidos inferidos na rua em questão foram exatamente aqueles esperados, como se pode verificar na seguinte Tabela 18:

Tabela 18 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Estrada da Circunvalação

Id Segmento	Sentido	Movimentos Permitidos (Id Segmento)
3128 – Estrada da Circunvalação	1 Sentido	31888 – Rua Dr. António Bernardino de Almeida Sentido Norte -> Sul

Rua do Dr. António Bernardino de Almeida

A Rua Dr. António Bernardino de Almeida, para além da ligação que tem com a Estrada da Circunvalação como vimos anteriormente, tem também ligação com a Rua Dr. Manuel Pereira da Silva, como podemos observar na Figura 78:



Figura 78 - Movimentos reais permitidos na Rua Dr. António Bernardino de Almeida

Poderemos observar que foi exatamente o movimento permitido inferido que se obteve após a execução do algoritmo em causa, consultando a Tabela 19:

Tabela 19 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Rua Dr. António Bernardino de Almeida

Id Segmento	Sentido	Movimentos Permitidos (Id Segmento)
22399 – Rua Dr. António Bernardino de Almeida	2 Sentidos	13671 – Rua Dr. Manuel Pereira da Silva, Sentido Oeste -> Este

Rua Dr. Manuel Pereira da Silva

Percorrendo a Rua Dr. Manuel Pereira da Silva no sentido Oeste -> Este, e chegando ao seu fim, sabemos que o condutor terá diversas opções para seguir a sua viagem (Figura 79). Contudo, no percurso em causa, o condutor optou por seguir para a Rua Dr. Roberto Frias.



Figura 79 - Movimentos reais permitidos na Rua Dr. Manuel Pereira da Silva

Após ser aplicado o algoritmo de inferência para determinação dos movimentos permitidos, conclui-se que seria permitido o movimento para a Rua Dr. Roberto Frias como demonstra a Tabela 20:

Tabela 20 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Rua Dr. Manuel Pereira da Silva

Id Segmento	Sentido	Movimentos Permitidos (Id Segmento)
19858 – Rua Dr. Manuel Pereira da Silva	2 Sentidos	29712 – Rua Dr. Roberto Frias, Sentido Sul -> Norte

Rua Dr. Roberto Frias (Parte 2)

Encontrando-se o condutor na Rua Dr. Roberto Frias, se este não a quiser percorrer em toda a sua extensão, terá apenas um movimento possível. Este movimento consiste em virar para a Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro, aproximadamente a meio da sua extensão como se pode verificar pela Figura 80:

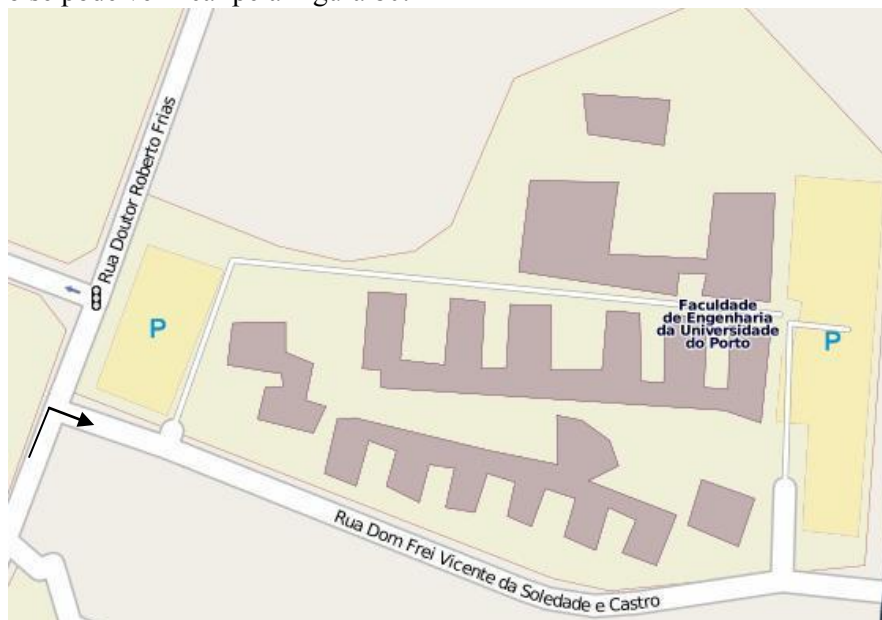


Figura 80 - Movimentos reais permitidos na Rua Dr. Roberto Frias (Parte 2)

Podemos observar que foi esse o movimento permitido a que se chegou depois da aplicação dos métodos de inferência através da Tabela 21:

Tabela 21 - Resultado dos movimentos permitidos inferidos na Rua Dr. Roberto Frias (Parte 2)

Id Segmento	Sentido	Movimentos Permitidos (Id Segmento)
13697 – Rua Dr. Roberto Frias	2 Sentido	6100 – Rua Dom Frei Vicente da Soledade e Castro, Sentido Oeste -> Este

6. Conclusões

6.1. Considerações Finais

Uma das componentes da Dissertação, e aquela onde recaiu grande parte do tempo, refere-se sobre a aplicação de métodos de inferência sobre Logs GPS, obtendo assim os parâmetros desejados dos segmentos de via. Assim, foram estudados diversos modelos de dados utilizados por diferentes SIG, e criado um modelo de dados usado para guardar toda a informação. Na aplicação das técnicas de inferência tornou-se essencial o uso da estrutura vetor de vetores ([Estruturas de Dados Utilizadas](#)), pois possibilitou ter os dados todos organizados para uma posterior inferência de dados.

Outra componente recaiu sobre a construção de um Plug-in gráfico para o netEditor ([Visualizador](#)) que torna-se possível facilitar o processo de Calibração/Validação do Modelo gerado. Aqui, podemos também concluir que se tratou de uma tarefa fundamental, pois o *developer* tinha acesso a uma interface gráfica do modelo em causa, podendo retirar conclusões imediatas sobre a veracidade da rede, em vez de analisar grandes quantidades de dados alfanuméricos.

Por último, outra componente da dissertação incidiu na simulação da rede gerada utilizando o simulador de tráfego SUMO, tornando possível ao utilizador visualizar o modelo final, contendo já todos os elementos que compõem a rede em causa. Esta tarefa foi também concluída com êxito como relata a secção 4.8 ([Exportação para SUMO](#)).

Assim, e implementadas todas as componentes citadas anteriormente poder-se-á concluir que todos os parâmetros foram inferidos com sucesso, tornando possível obter um modelo que representa de uma forma correta e concisa a realidade como se observou na capítulo 5 ([Testes e Avaliação de Resultados](#)).

O projeto em causa possibilita assim a modelação de qualquer rede, basta que para isso seja apenas realizado anteriormente um percurso via automóvel usando uma aplicação que guarde o percurso em causa. Toda essa rede será modelada de uma forma bastante realista e credível, tornando possível a simulação do modelo gerado.

Este projeto não incorrerá em erros que poderiam acontecer se fosse usado um importador de rede de ferramentas como o Google Maps, OpenStreetMap pois estes poderiam conter informações desatualizadas, erradas, ou mesmo não conter informação, o que não acontece com o projeto em causa. Para além dos factos relatados anteriormente este projeto utiliza ainda as velocidades reais dos segmentos de via, tornando a simulação bastante mais realista.

6.2. Trabalho Futuro

As áreas da mobilidade urbana e simulação de tráfego têm sido alvo de uma atenção crescente no meio informático, e cada vez mais se aposta em ambientes de simulação, sofrendo estes constantes investigações, estudos e novos avanços.

A aplicação desenvolvida é sem dúvida bastante interessante, demonstrando que é possível modelar qualquer tipo de rede de uma forma bastante realista. Contudo, poderá sempre ser melhorada tornando o modelo de rede ainda mais realista. Assim, como trabalho futuro aponto certos parâmetros bastante importantes para a simulação de tráfego, que poderão ser inferidos futuramente:

- Existência de passagens para pedestres;
- Existência de rotundas;
- Sinalização luminosa;
- Sinais de cedência de passagem;
- Sinais de STOP;
- Tipo de veículos permitidos nas vias;
- Prioridades em cruzamentos;

Inferidos estes parâmetros referidos corretamente, estaremos perante uma aplicação que torna o processo de modelação de redes o mais real possível conseguindo assim gerar modelos que caracterizam a realidade.

Outro aspeto que poderá ser desenvolvido futuramente recai sobre a elaboração de uma ontologia para os modelos de dados usados nos diferentes SIG, nomeadamente OpenStreetMap, Tele Atlas e Google Maps, possibilitando a chegada a um modelo de dados que represente diversos conceitos dentro dos sistemas de informação geográficos.

Bibliografia

[TSN09] – Tuffi, Saliba Neto. Desenvolvimento de um Sig de Código Aberto para Simulação Microscópica de Tráfego Urbano. Minas Gerais – Brasil, 2009.

[VA04] - Vasconcelos, António. Modelos de Atribuição/Simulação de Tráfego: O Impacto na Qualidade dos Resultados de Erros no Processo de Modelação. Coimbra – Portugal, 2004.

[VC08] – Vilarinho, Cristina. Calibração de Modelos Microscópicos de Tráfego em Redes Urbanas. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2008.

[AP06] - Ariott, Paula. Associação de Modelos Macroscópicos e Microscópicos de Tráfego para o Estudo da Circulação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

[LS05] - Lei Shang, Huapu Lu, Hanping Jiang. Research of Urban Microscopic Traffic Simulation System. Tsinghua University (Beijing), 2005.

[ADCH04] - Araújo Davi, Cybis Helena. Aplicação do simulador de tráfego Drácula em Porto Alegre - Análise comparativa com o Saturn. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

[FR09] - Freitas, Tiago. Geospatial Data Processing for GPS Navigation Systems. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2009.

[RR98] - Rossetti, Rosaldo. Um Ambiente para Suporte à Simulação de Sistemas de Tráfego Urbano. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

[EAR] – Pagina referente à ferramenta Enterprise Architect. Consultado pela última vez em Maio de 2012.

Disponível em:

<http://www.sparxsystems.com.au/>

[REDM] – Página principal do Redmine proporcionado pela FEUP. Consultado pela última vez em Junho de 2012.

Disponível em:

<https://redmine.fe.up.pt/>

[DTSVN] - Documentação da aplicação TortoiseSVN. Consultado pela última vez em Janeiro de 2012.

Disponível em:

<http://tortoisesvn.net/features.html>

[TNONI] – Tutorial da aplicação NoniGPSPlot. Consultado pela última vez em Março de 2012.

Disponível em:

<http://att-tutoriais.blogspot.pt/2012/02/noni-gpsplot.html>

[CJFB08] - Cardoso João, Ferreira Brandão. Aplicação de Modelos de Tráfego (DRACULA) na Avaliação dos Impactos em Redes Rodoviárias Urbanas Resultantes das Alterações nas Infra-Estruturas e/ou na Procura do Tráfego. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2008.

[SUS] – Página referente ao simulador SUMO. Consultado pela última vez em Junho de 2011
Disponível em:
http://sumo.sourceforge.net/doc/current/docs/userdoc/Networks/Building_Networks_from_own_XML-descriptions.html

[SUS2] – Página referente tutorial simulador SUMO. Consultado pela última vez em Maio de 2012.
Disponível em:
http://sumo.sourceforge.net/doc/current/docs/userdoc/Tutorials/Quick_Start.html

[SUS3] – Página referente a tutorial simulador SUMO. Consultado pela última vez em Maio de 2012.
Disponível em:
http://sourceforge.net/apps/mediawiki/sumo/index.php?title=Tutorials/Hello_Sumo

[DI] – Imagens interface do simulador DIVERT. Consultado pela última vez em Maio de 2012
Disponível em:
<http://myddas.ncc.up.pt/divert/>

[LXQLMLZL08] - Lianxia Xi, Quan Liu, Minghua Li, Zhong Liu. Map Matching Algorithm and Its Application. China, 2008.

[TEMOV] - Página associada a redes móveis. Consultado pela última vez em Abril de 2011.
Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-65552007000400009&script=sci_arttext

[PGCK] - Pellegrini Gisele, Collazos Katia. Extração de conhecimento a partir dos Sistemas de Informação. Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil).

[CLRW04] - Chu Lianyu, Liu Henry, Oh Jun-Seok, Recker Will. A Calibration Procedure for Microscopic Traffic Simulation. Califórnia, 2004.

[OSM] - Página principal de OpenStreetMap. Consultado pela última vez em Junho de 2011.
Disponível em:
<http://www.openstreetmap.org>

[GM] - Página principal de Google Maps. Consultado pela última vez em Junho de 2011.
Disponível em:
<http://maps.google.com/>

[IDEVS] -Página principal de IDE Visual Studio 2010. Consultado pela última vez em Março de 2012.
Disponível em:
<http://www.microsoft.com/visualstudio/pt-pt>

[GEAR] - Página principal do Google Earth. Consultado pela última vez em Setembro de 2011.
Disponível em:
<http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>

[TANAC05] - Tele Atlas North America Cooperation. Tele Atlas MultiNet™ Shapefile 4.3.1 Format Specifications. North America, 2005.

[FJ08] - Ferreira, José. Aplicação de Modelos de Tráfego (DRACULA) na Avaliação dos Impactos em Redes Rodoviárias Urbanas Resultantes das Alterações nas Infra-Estruturas e/ou na Procura de Tráfego. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2008.

[**WOSMAP**] – Wiki OpenStreetMap. Consultado pela última vez em Setembro de 2011.
Disponível em:
<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Elements>

[**TV03**] - Tavares, José. Aplicabilidade e Robustez de Modelos de Afectação de Tráfego em Redes Urbanas. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2003.

[**APIGM**] – Página principal de API Google Maps. Consultado pela última vez em Junho de 2011. Disponível em:
<http://code.google.com/intl/pt-BR/apis/maps/documentation/javascript/v2/reference.html>

[**FOSM**] – Página principal das Features de OpenStreetMap. Consultado pela última vez em Junho de 2011. Disponível em:
http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features

[**VMQ07**] - Verbree Edward, Maat Kees, Bohte Wendy, Nieuwburg Erik, Oosterom Peter, Quak Wilko.
GPS-monitored itinerary tracking: Where have you been and how did you get there?. Delft University of Technology, 2007.

[**GMDC09**] - Gobelbecker Moritz, Dornhege Christian. Realistic Cities in Simulated Environments - An Open Street Map to Robocup Rescue Converter. University Freiburg, 2009.

[**JYKCSK**] -Jae-seok YANG, Kyung-soo CHON , Seung-pil KANG. THE MAP MATCHING ALGORITHM OF GPS DATA WITH RELATIVELY LONG POLLING TIME INTERVALS. Seoul –Korea, 2005.

[**CRHT**] - Claes Rutger, Holvoet Tom. MULTI-MODEL TRAFFIC MICROSIMULATIONS. Belgium 2009.

[**ABMDSA08**] – Ameri Babak , Meger David, Shankaie Alireza. GIDE - GEO-INTELLIGENT COLLABORATIVE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR REAL-TIME DISASTER AND EMERGENCY MANAGEMENT . Vancouver – Canada 2008.

[**HMWB10**] - Hentschel Matthias, Wagner Bernardo. Autonomous Robot Navigation Based on OpenStreetMap Geodata. University Hannover (Germany), 2010.

[**MLJD**] – Michael Behrisch, Laura Bieker, Jakob Erdmann and Daniel Krajzewicz. SUMO - Simulation of Urban Mobility: An Overview In, 2011.

[**COEST**] – Página da escola de condução Invicta. Consultado pela última vez em Novembro de 2011. Disponível em:
http://www.invicta.com.pt/codigo/limites_velocidade.asp

[**PUML**] - Página principal da Modelação UML. Consultado pela última vez em Julho de 2011. Disponível em:
<http://www.uml.org/>

[**ADHU**] - Activity Diagrams What it is and How to Use. Consultado pela última vez em Julho de 2011. Disponível em:
http://sunset.usc.edu/classes/cs577a_2000/papers/ActivitydiagramsforRoseArchitect.pdf

[SSPP] -Página principal simulador SUMO. Consultado pela última vez em Julho de 2011.
Disponível em:
<http://sumo.sourceforge.net/>

[DPP] - Página principal do projeto DIVERT. Consultado pela última vez em Julho de 2011.
Disponível em:
<http://divert.ncc.up.pt/index.html>

[UDPP] - Página principal do visualizador uDig Consultado pela última vez em Junho de 2011.
Disponível em:
<http://udig.refractive.net/>

[MC07] - Moniz, Carla. O Congestionamento de Intersecções e o Uso de Vias Individualizadas Dinâmicas. Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

[DC] -Davis Clodoveu. Banco de Dados Geográficos para aplicações urbanas.

[CC] – Cardoso, Carlos. Modelagem em Tráfego e Transporte. São Paulo.

[BIODI] – Página referente à biografia de Edsger Wybe Dijkstra. Consultado pela última vez em Setembro de 2012
Disponível em:
<http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Dijkstra.html>

[CPP] - Página de documentação vetores na linguagem C++. Consultado pela última vez em Fevereiro de 2012.
Disponível em:
<http://www.cplusplus.com/reference/stl/vector/>

[IOP] – Página de conteúdos da disciplina Investigação Operacional 2009. Consultado pela última vez em Setembro de 2012.
Disponível em:
https://sigarra.up.pt/feup/Disciplinas_geral/FormView?P_ANO_LECTIVO=2009/2010&P_CA_D_CODIGO=EIC0037&P_PERIODO=2S

[BW] -Burghout Wilco. Mesoscopic Simulation Models for Short-Term Prediction. Suécia 2011.

[LCART] – Página de referência à função LocalCartesian. Consultado pela última vez em Abril de 2012.
Disponível em:
http://geographiclib.sourceforge.net/html/classGeographicLib_1_1LocalCartesian.html#ad277a6798293d5d66168c3c1438d10a2

[QLF] – Página documentação de linguagem Qt de referência à função QLineF. Consultado pela última vez em Abril de 2012.
Disponível em:
<http://qt-project.org/doc/qt-4.8/QLineF.html>

[SGPX] – Documentação linguagem GPX. Consultado pela última vez em Janeiro de 2012.
Disponível em:
<http://www.topografix.com/GPX/1/1/>

[DKML] -Documentação linguagem KML. Consultado pela última vez em Janeiro de 2012.
Disponível em:
<https://developers.google.com/kml/documentation/>

[NETCON] – Página de Tutorial no uso da funcionalidade NETCONVERT. Consultado pela última vez em Maio de 2012.

Disponível em:

<http://sumo.sourceforge.net/doc/current/docs/userdoc/NETCONVERT.html>

[POSSQL] – Documentação de PostgreSQL. Consultado pela última vez em Janeiro de 2012.

Disponível em:

<http://pgdocptbr.sourceforge.net/pg80/index.html>