

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Computação



Dissertação

**ACORoute: Sistema de Recomendação de Rotas Baseado na Comunicação por
Feromônios**

Carla Simone Guedes Pires

Pelotas, 2014

Carla Simone Guedes Pires

**ACORoute: Sistema de Recomendação de Rotas Baseado na Comunicação por
Feromônios**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Marilton Sanhotene de Aguiar
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Ferreira

Pelotas, 2014

Dados de catalogação na fonte:
Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

P667a

Pires, Carla Simone Guedes

ACORoute : sistema de recomendação de rotas baseado na comunicação por feromônios / Carla Simone Guedes Pires. – Pelotas, 2014. – 120f. : il. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Universidade Federal de Pelotas. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Pelotas, 2014. - Orientador Marilton Sanchotene de Aguiar ; coorientador Paulo Roberto Ferreira.

1.Computação. 2.Sistemas de recomendação de rotas. 3.Comunicaçnao baseada em feromônios. 4. Sistemas inteligentes de transporte. I.Aguiar. II.Ferreira, Paulo Roberto. III.Título.

CDD: 006.3

Dedico... Aos meus amores: Daniel, João Pedro e Bruno.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, pela força e colaboração, em especial aos meus pais Carlos e Sirlei, que nunca mediram esforços em favor da minha educação. E aos meus filhos Bruno e João Pedro, por tornarem os meus dias mais felizes e por completarem minha vida.

Ao meu amor Daniel, pelo amor, dedicação e paciência ao longo desse período. Pelo estímulo constante, pelas palavras de incentivo e determinação, que me ajudaram a atingir meus objetivos sem desanimar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marilton Sanchotene de Aguiar, e ao meu co-orientador Prof. Dr. Paulo Roberto Ferreira pelo empenho na orientação deste trabalho, pelo encorajamento, pela solicitude com que sempre me atenderam e pelas excelentes discussões que mantivemos desde a escolha do tema até o fechamento do trabalho.

Aos professores integrantes da banca, por terem aceito participar na avaliação deste trabalho, pela paciência na leitura e pelas críticas e sugestões apresentadas.

Aos companheiros de grupo Thainan Remboski e William Souza, pelo incentivo e contribuições valiosas.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Computação da UFPEL pela acolhida. em especial a Martha e Fabiano, pelo apoio, carinho e dedicação demonstrados.

E finalmente à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do RGS - FAPERGS, pelo apoio financeiro ao Projeto (PRONEX, processo nr. 10/0049-7), do qual este trabalho faz parte.

”Quanto mais um homem se aproxima de suas metas, tanto mais crescem as dificuldades.”
— JOHAN WOLFGANG VON GOETHE

RESUMO

PIRES, Carla Simone Guedes. **ACORoute: Sistema de Recomendação de Rotas Baseado na Comunicação por Feromônios**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

A mobilidade urbana é um problema que afeta a grande maioria das cidades nos dias de hoje. Assim, sistemas que forneçam informações em tempo real para auxiliar no planejamento de rotas e na escolha de trajetos mais apropriados são essenciais para tornar o transporte mais eficiente, principalmente em se tratando de veículos de emergência. Como alternativa de solução para problemas relacionados à mobilidade nas cidades, temos os chamados Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT), entre eles estão os sistemas de recomendação de rota (SRR) e metodologias para identificação de congestionamento, que combinam soluções de tecnologia de informação e comunicação (TIC) e técnicas de Inteligência Artificial (IA) para melhorar a qualidade dos sistemas de transporte. Neste contexto, este trabalho propõe a utilização de comunicação baseada em feromônios para construção de um SIT que ofereça informações sobre o fluxo do trânsito em tempo real, levando em consideração a mobilidade dos veículos e passageiros e a dinâmica do trânsito. O objetivo geral é fornecer uma solução Android capaz de sugerir aos usuários rotas calculadas através do algoritmo híbrido entre A* e o mecanismo de feromônios. A ideia é evitar regiões de congestionamento acentuado.

Palavras-chave: Sistemas de recomendação de rotas, Sistemas inteligentes de transporte, Comunicação baseada em feromônios.

ABSTRACT

PIRES, Carla Simone Guedes. **ACORout: Recommendation System for Less Congested Routes Based on Communication by Pheromones.** 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

Urban mobility is a problem that affects the vast majority of cities nowadays. Thus, systems that provide real time information to assist in planning routes and choosing the most appropriate paths are essential to make transport more effective, especially when it comes to emergency vehicles. As an alternative solution to problems related to mobility in cities, there are the so-called Intelligent Transportation Systems (ITS) which include the Route Recommendation Systems (RRS) and methodologies for congestion prediction that combine Information and Communication Technology (ICT) solutions and techniques of Artificial Intelligence (AI) technology to improve the quality of transport systems. In this context, this work proposes the use of pheromone-based communication for building an ITS that offers information about real time traffic flow, taking into account the mobility of vehicles and passengers and the traffic dynamics. The general goal is to provide an Android solution able to suggest users routes calculated by the hybrid algorithm between A* and pheromone mechanism. The idea is to avoid areas of heavy traffic congestion.

Keywords: Route Recommendation System, Intelligent Transportation Systems, traffic modeling, traffic simulating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Exemplo do comportamento das formigas (TEODOROVIC, 2008)	28
Figura 2	Uso do Ubibus: maps (a) mostrando paradas cadastradas e (b) informações da rota recomendada	35
Figura 3	Interface Gráfica do Waze	37
Figura 4	Interface Gráfica do Rose: (a) Resultado da busca; (b) Mapa mostrando a rota escolhida	38
Figura 5	Interface gráfica do PECITAS: (a) seleção de origem e destino; (b) preferências do usuário	39
Figura 6	Rotas obtidas pelo método proposto	41
Figura 7	Interface gráfica do VAIpho: (a) durante o percurso; (b) do usuário pedestre	42
Figura 8	Estrutura do ambiente viário.	42
Figura 9	Sistema de monitoramento do veículo (Probe car)	44
Figura 10	Modelo - Servidores de informação	44
Figura 11	Visão geral do modelo de comunicação	48
Figura 12	O cenário simulado no NetLogo	50
Figura 13	Interface do protótipo: (a) Pontos origem e destino; (b) Calculando a rota; e, (c) Visualização da rota	51
Figura 14	Representação do mapa.	53
Figura 15	Formato OSM: (a) O mapa no JOSM; (b) O formato do arquivo XML	55
Figura 16	Base de dados	56
Figura 17	Visão geral da construção da base de dados	56
Figura 18	Visão geral da arquitetura	57
Figura 19	Visão geral do Modelo Proposto	58
Figura 20	Exemplo de Objeto JSON	59
Figura 21	Interface Web	60
Figura 22	Mapa de feromônios referente a um trecho do mapa de Pelotas	61
Figura 23	Matriz de experimentos - peso do feromônio x peso da distância.	63
Figura 24	Superfície de resposta - peso do feromônio x peso da distância.	64
Figura 25	Tabela da distribuição de t (Student t table).	64
Figura 26	Análise de Variância (ANOVA)	65
Figura 27	Superfície de resposta para o modelo matemático	66
Figura 28	Matriz de experimentos - peso feromônio x evaporação.	67
Figura 29	Superfície de resposta - peso feromônio x evaporação.	67
Figura 30	Matriz de experimentos - peso distância x evaporação.	68

Figura 31	Superfície de resposta - peso distância x evaporação.	68
Figura 32	Diagrama de classes do Aplicativo	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Crescimento da frota de Veículos. Fonte: Observatório das Metrópoles com dados do DENATRAN (METRÓPOLES, 2013) . . .	21
Tabela 2	Velocidade média de deslocamento em grandes cidades brasileiras	21
Tabela 3	Características dos Métodos de Recomendação de Rotas	46
Tabela 4	Características do Métodos de Previsão de Congestionamento . . .	46
Tabela 5	Características do ACORoute	47
Tabela 6	Características do ACORoute	62
Tabela 7	Análise da parametrização com 600 carros no ambiente, dos quais 100% com Feromônios	69
Tabela 8	Eficiência do modelo de feromônios	70
Tabela 9	Análise do percentual mínimo de veículos com feromônios	71
Tabela 10	Análise dos parâmetros de decisão para o recálculo da rota	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Autômato Celular
ACO	Otimização por Colônia de Formigas (Ant Colony Optimization)
AG	Algoritmos Genéticos
API	Interface de Programação de Aplicativos (Application Programming Interface)
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
FUZZY	Lógica Difusa
GPS	Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System)
HTTP	Protocolo de Transferência de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol)
IA	Inteligência Artificial
IDE	Integrated Development Environment
JSON	JavaScript Object Notation
NTIC	Centro Nacional de Informações de Tráfego (National Traffic Information Centre)
OSM	OpenStreetMaps
PDR	Personal Dead Reckoning
REST	Representational State Transfer
RNA	Redes Neurais Artificiais
SACV	Sistemas Avançados de Controle de Veículos
SAGT	Sistemas Avançados de Gestão do Tráfego
SAIV	Sistemas Avançados de Informações para Viajantes
SAOVC	Sistemas Avançados de Operações de veículos Comerciais
SATP	Sistemas Avançados de Transporte Público
SATR	Sistemas Avançados de Transportes Rurais
SDK	Software Development Kit
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIT	Sistemas Inteligentes de Transporte

SMA Sistema MultiAgente
SRR Sistemas de Recomendação de Rotas
SSC Sistemas Sensíveis ao Contexto
TIC Tecnologia da Informação e Comunicação
VAiPho vehicular ad-hoc networks on smartphones
XML Extensible Markup Language

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivos	18
1.3	Estrutura do Trabalho	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Mobilidade Urbana	20
2.2	Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT)	21
2.2.1	Principais Categorias de SIT	22
2.3	Sistemas de recomendação de rotas (SRR)	23
2.4	Técnicas de Inteligência Artificial aplicadas à Identificação de Congestionamento	25
2.4.1	Sistemas Multiagentes	25
2.4.2	Inteligência de Enxames	26
2.4.3	Redes Neurais Artificiais	28
2.4.4	Autômatos Celulares	29
2.4.5	Algoritmos Genéticos	29
2.5	Simulação em SIT	30
2.5.1	Classificação dos modelos de simulação de tráfego	31
2.5.2	Modelos Microscópicos	32
3	TRABALHOS RELACIONADOS	34
3.1	UbiBus: um SIT para transporte público	34
3.1.1	UbiBusRoute: um sistema de recomendação de rotas para o transporte público	35
3.1.2	YCT: <i>Your City on Time</i>	35
3.1.3	EPITrans: extração, processamento e inferência de informações de transporte	36
3.2	Waze Social GPS Maps	36
3.3	ROSE: ROuting SErvice	37
3.4	PECITAS: Personalized Mobile City Transport Advisory System	38
3.5	Planejamento de rotas dinâmicas utilizando o modelo de infecção viral e AGs	39
3.6	ACO híbrido para previsão de tráfego em uma grande área de rede de estradas	40
3.7	VAiPho: rede veicular para <i>smartphones</i>	41

3.8	Algoritmo de previsão de congestionamento baseado na comunicação por feromônios	41
3.9	Estratégia auto-organizada para evitar congestionamento usando feromônios	43
3.10	Modelo de feromônio aplicado a previsão de congestionamento . . .	43
3.11	Trabalhos Relacionados X ACORoute	45
4	ACOROUTE: SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE ROTAS BASEADO NA COMUNICAÇÃO POR FEROMÔNIOS	48
4.1	Visão geral do ACORoute	48
4.2	O modelo baseado em feromônios	49
4.3	A criação do mapa de feromônios	50
4.4	A busca pela rota com menor congestionamento	52
4.5	O <i>Webservice</i>	54
4.5.1	Criação dos mapas e da base de dados	54
4.5.2	A Arquitetura do <i>Webservice</i>	57
4.5.3	A implementação do <i>WebService</i>	57
5	RESULTADOS	61
5.1	Modelo de Identificação	61
5.2	Avaliação do Modelo de Identificação	62
5.3	Aplicativo	71
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
6.1	Principais Conclusões	74
6.2	Trabalhos Futuros	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Nas últimas décadas, o trânsito em cidades de médio e grande porte, bem como os transtornos causados direta ou indiretamente por ele, causam problemas de mobilidade cada vez maiores. Em decorrência disto, surgem problemas como congestionamentos, falta de segurança, danos ao meio-ambiente, improdutividade e atrasos se tornam recorrentes (VIEIRA; CALDAS; SALGADO, 2011). Como consequência desta problemática, o transporte público se mostra ineficiente devido ao tempo gasto para locomoção e espera, o que ocasiona um crescimento desenfreado do número de veículos particulares, causando aumento do volume de trânsito, tornando o problema de mobilidade ainda mais complexo (WAHLE et al., 2001).

Os Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) se mostram como alternativa para diminuir o congestionamento e aumentar a eficiência da mobilidade dentro das cidades. Estes sistemas têm por objetivo aplicar tecnologias de informação e comunicação (TIC) para apoiar a infraestrutura de trânsito existente e melhorar a qualidade dos sistemas de transporte (ADLER; BLUE, 1998). De acordo com TITO et al. 2012, durante as últimas décadas, os SITs têm se destacado como uma nova solução aos sérios problemas decorrentes do intenso trânsito. Vários subsistemas de SIT têm desempenhado papéis importantes no aumento da eficiência, segurança e mobilidade dos meios de transporte através do uso avançado da TICs (TITO et al., 2012a; FERRIS; WATKINS; BORNING, 2010; ZENKER; LUDWIG, 2009; MASUTANI et al., 2006; KURIHARA, 2013).

Assim, o uso de SIT, além de facilitar o trânsito, também têm a finalidade de auxiliar usuários a localizarem locais específicos em uma cidade. Para atender esta necessidade, normalmente os usuários devem dispor de pelo menos duas informações, uma referente à busca do local específico, e outra oriunda de uma ferramenta de navegação para identificar a rota. Neste sentido, os sistemas de recomendação de rotas surgem para facilitar todo o planejamento do deslocamento, pois integram ambas as buscas em uma ferramenta, recomendando a melhor rota para chegar ao local desejado (RO-

GERS; LANGLEY, 1998).

Podem ser citados como exemplos destas ferramentas, os sistemas de recomendação de rotas para transportes públicos, que apresentam ao usuário um trajeto que inclui em alguns casos o tempo de caminhada e as trocas de transporte durante o percurso (TITO et al., 2012a; FERRIS; WATKINS; BORNING, 2010; ZENKER; LUDWIG, 2009); e os sistemas de auxílio aos condutores, através do provimento de informações (NARZT et al., 2010; MASUTANI et al., 2006; KURIHARA, 2013; , KLUEGL; BAZZAN(2004). Estes sistemas têm como principal objetivo revolucionar vários aspectos dos transportes, tais como reduzir congestionamentos, incrementar a segurança através de disponibilização de informações de tráfego, otimizar os transportes públicos e melhorar na logística e a distribuição dos veículos (LARROCHE; MOULIN; GAUYACQ, 1996).

A maioria deste sistemas usa informações estáticas, auxiliadas por transmissores instalados em veículos ou em sistemas centrais de informação, que fornecem informações aos usuários. Estas informações estão basicamente relacionadas às rotas e estimativas de tempo de chegada. Como exemplo destes sistemas, tem-se o *Google Maps*, que não leva em consideração acontecimentos dinâmicos como congestionamentos, acidentes, alagamentos, entre outros fenômenos que podem, de alguma forma, influenciar na tomada de decisão (FERRIS; WATKINS; BORNING, 2010).

Neste contexto, esta dissertação propõe integrar dados de trânsito, oriundos do levantamento *in loco* por dispositivos móveis, com um sistema de recomendação de rotas alternativas, personalizadas a partir da análise de informações de fluxo do trânsito por técnicas de inteligência de enxames (do inglês, *Swarm Intelligence*).

Esta dissertação está inserida no contexto de um Projeto maior, em desenvolvimento junto ao grupo de pesquisa GAIA, denominado *Rede Estadual de Simulação Social* (RS SOC), aprovado no Edital FAPERGS/CNPq n. 008/2009 do Programa de Apoio a Núcleos de Excelência – PRONEX, que está sob a coordenação da Prof^a. Ana Lúcia Cetertich Bazzan (Instituto de Informática, UFRGS) e localmente pelo Prof. Paulo R. Ferreira Jr.. Este Projeto visa apoiar os setores público e de negócios com o desenvolvimento de ferramentas do tipo laboratório para simulação e teste de políticas e ações ligadas à área de computação social.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem por objetivo propor uma ferramenta no contexto de Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) que possui desafios em dois vieses: a) do ponto de vista tecnológico, poder capturar informações dinâmicas do trânsito, de mobilidade dos veículos e dos passageiros e fornecer subsídios para identificar ocorrência de fenômenos que afetam o escoamento do trânsito; e, b) do ponto de vista teórico, de-

envolver um modelo de recomendação de rotas baseado em técnicas de inteligência de enxames.

Mais especificamente, tem-se os seguintes objetivos:

- desenvolver uma ferramenta para coleta de informações de tráfego e disponibilização de rotas alternativas;
- propor um modelo que use inteligência de enxames para recomendar rotas dinamicamente, fazendo identificação de congestionamento baseado no modelo de comunicação por feromônios.

Pretende-se que o trabalho desenvolvido nesta dissertação possa fornecer funcionalidades como, identificação e planejamento rotas dinamicamente, estimativas mais precisas de tempo de chegada e recomendações de melhores rotas de acordo com as informações de localização coletadas em tempo real, com o intuito de oferecer maior eficiência e qualidade aos condutores e passageiros. Como resultado desta dissertação, espera-se uma ferramenta para facilitar o dia a dia das pessoas que utilizam a infraestrutura de trânsito de Pelotas, oferecendo acesso inteligente à informações de transporte aos motoristas e passageiros, em tempo real, baseado em informações dinâmicas de contexto relacionadas aos próprios meios de transporte.

1.3 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está organizada em 6 capítulos. No capítulo 1 é abordado o tema do trabalho, suas motivações e objetivos. No capítulo 2 são tratados os fundamentos conceituais e tecnológicos do trabalho, sendo explorados conceitos de mobilidade, SIT com seus benefícios e categorias, Sistemas de Recomendação de Rotas (SRR), técnicas de IA aplicadas a previsão e identificação de congestionamento e por fim, simulação de SIT. O estudo do estado da arte é apresentado no capítulo 3, onde são apresentadas discussões a cerca dos trabalhos relacionados e o modelo ACORoute. Uma visão geral do ACORoute é discutida no capítulo 4. No capítulo 5 são apresentados os resultados e discussões relacionadas a eles. O trabalho finaliza no capítulo 6, onde são apresentadas as principais conclusões e os trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este Capítulo tem por objetivo discorrer sobre os principais fundamentos conceituais do trabalho desenvolvido nesta dissertação. Neste capítulo estão descritos os fundamentos conceituais que sustentam esta pesquisa. Assim, são explorados conceitos pertinentes à mobilidade urbana, são apresentados conceitos relativos à SIT, abordando os benefícios presentes na área e suas categorias. Na sequência, são apresentados os conceitos relacionados a sistemas de recomendação de rotas e técnicas para previsão e identificação de congestionamentos. O Capítulo é, então, finalizado com Simulação de SIT.

2.1 Mobilidade Urbana

O termo mobilidade urbana está relacionado com os deslocamentos diários dos indivíduos no espaço urbano e isto envolve dois interferentes: um que depende do desempenho do sistema de transporte urbano, que está relacionado com o local onde o indivíduo se encontra, a hora do dia, e a direção na qual se deseja deslocar; e outro que depende das características individuais, tais como uso de veículo próprio, uso de táxi, ônibus, trem ou avião, a possibilidade de caminhar ou usar o transporte público, ou mesmo se tem conhecimento das opções disponíveis no local. Assim, um elemento está relacionado com a eficiência do sistema de transporte, e o outro com a disponibilidade do sistema de transporte (BAZZAN; KLÜGL, 2013). Em ambas situações, a concentração de veículos nos sistemas viários afeta diretamente a mobilidade.

O Brasil terminou o ano de 2012 com uma frota de 76.137.125 veículos automotores. A Tabela 1 apresenta a evolução quantitativa destes veículos nas metrópoles brasileiras de 2010 a 2012. Os reflexos desse crescimento podem ser vistos, diariamente, nas grandes e médias cidades: a velocidade média dos automóveis nas principais cidades do país decai a cada ano. Como principal consequência, o deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano é negativamente afetado, se tornado moroso e caro. A Tabela 2 apresenta dados a cerca da velocidade média nos horários de pico (manhã e tarde) em algumas capitais brasileiras.

Tabela 1: Crescimento da frota de Veículos. Fonte: Observatório das Metrôpoles com dados do DENATRAN (METRÓPOLES, 2013)

Cidade	2010	2011	2012
São Paulo	7.881.929	8.292.812	8.675.738
Rio de Janeiro	2.652.960	2.824.500	3.017.406
Belo Horizonte	1.618.099	1.753.405	1.880.608
Porto Alegre	1.334.960	1.423.439	1.518.247
Brasília	1.157.721	1.241.747	1.333.113

Tabela 2: Velocidade média de deslocamento em grandes cidades brasileiras

Cidade	Velocidade média (Km/h)		
	2010	2011	2012
São Paulo (ROLNIK; KLINTOWITZ, 2011)	18,1	16,8	14,8
Rio de Janeiro (CNM, 2013)	25,22	25,18	21,18
Belo Horizonte (BH, Mai 2012)	19,39	18,3	17,22
Porto Alegre (CNM, 2013)	24,33	20,1	18,5

Questões ambientais estão fortemente ligadas à mobilidade urbana. Elevado consumo de combustíveis (TITO et al., 2012a), incremento na concentração de compostos carcinogênicos e mutagênicos na atmosfera (PLOEG; POELHEKKE, 2008) e geração de material particulado em suspensão no ar podem ser citados (FIGUEIREDO, 2005).

Assim, com o desiderato de manter uma ascendente mobilidade urbana aliada à sustentabilidade – ambiental, econômica e social – surgiu o conceito de sistemas de veículos e estradas inteligentes, posteriormente conhecidos como SIT, para aumentar a eficiência, segurança e uso das vias das redes de transportes atuais (CARMEN et al., 2005).

2.2 Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT)

O termo SIT surgiu nos Estados Unidos no final dos anos 80 junto com um movimento que tinha como objetivo tornar os meios de transporte mais seguros, eficientes e confiáveis. A ideia principal dos SIT é apoiar a infraestrutura de trânsito já existente sem que seja necessário alterá-la (ADLER; BLUE, 1998). Desta forma, uma série de ferramentas tem sido desenvolvidas com o intuito de auxiliar condutores a manterem-se informados à respeito das condições do trânsito e dos aspectos relevantes da dinâmica de seu escoamento. Áreas da computação como Inteligência Artificial (IA), Visão Computacional, Reconhecimento de Padrões, Aprendizagem de Máquina,

Mineração de Dados, e Controle Inteligente têm sido exploradas intensamente neste processo (STEINMACHER et al., 2012).

As ferramentas desenvolvidas nos SIT possibilitam que usuários obtenham os mais diversos tipos de informações relacionadas ao trânsito. Estas informações vão desde a localização atual, alternativas de rotas, estado da via, até previsões do tempo no percurso, o que proporciona maior poder de deliberação sobre as ações e escolhas dos indivíduos.

De uma forma simplificada pode-se dizer que os SIT têm por finalidade a otimização dos sistemas de transportes já existentes, fazendo uso de uma vasta gama de ferramentas que combinam tecnologias e melhorias em sistemas de informação, comunicações, sensores e métodos matemáticos avançados. O objetivo é a obtenção de estradas, veículos e utilizadores mais "inteligentes", com a tentativa de facilitar a fluidez do trânsito e solucionar uma variedade de problemas de transporte dos nossos dias, tais como congestionamento, segurança e problemas ambientais (TITO et al., 2012a).

Neste sentido, quanto maior a quantidade e qualidade das informações, maior a fluidez do tráfego, mais previsível a duração dos percursos e, conseqüentemente, menores os problemas relacionados.

2.2.1 Principais Categorias de SIT

Atualmente, o desenvolvimento tecnológico na área dos SIT permitiu criar sistemas inteligentes capazes de representar, simular e gerir sistemas de transporte. Estes sistemas são categorizados segundo, Vieira et al. (2011), em 6 tipos:

Sistemas Avançados de Gestão do Tráfego (SAGT): Os SAGT consistem em dispositivos de sensoriamento de tráfego, ou centrais de comunicações, onde um computador central monitora e otimiza as operações de tráfego. Estes sistemas são específicos para um determinado problema de tráfego e são implementados para um local específico, fazendo parte da infraestrutura de transporte disponibilizada.

Sistemas Avançados de Informações para Viajantes (SAIV): Os SAIV foram pensados para melhorar a mobilidade pessoal, a segurança e aumentar a produtividade dos meios de transporte, dando-lhes importante papel na redução de congestionamentos. Incluem serviços de pré-viagem e/ou informação de condições de tráfego para um percurso ou rota, possuem serviços de orientação e informação para turistas e informações relacionadas a entretenimentos.

Sistemas Avançados de Operação de Veículos Comerciais (SAOVC): Os SAOVC resultam da utilização das tecnologias de SIT por empresas privadas de transportes para aumentar a produtividade das suas frotas e a eficiência das suas

operações, auxiliando ainda na redução de custos. Estes sistemas estão relacionados diretamente a questões de gestão.

Sistemas Avançados de Transporte Público (SATP): O aumento da procura por transportes públicos nas áreas metropolitanas demanda por soluções de SIT para os transportes públicos. As informações disponíveis sobre o transporte público vão desde o tempo estimado de chegada do veículo, as recomendações de rotas de acordo com as diferentes necessidades de um passageiro em determinado período. É com esta finalidade que surgem ferramentas desta natureza.

Sistemas Avançados de Controle de Veículos (SACV): De forma a tornar as viagens mais cômodas, seguras e eficientes, são desenvolvidos sistemas que permitem melhorar o controle do veículo por parte do condutor. Um exemplo destas tecnologias são os sistemas anticolisão inteligentes que além de controlarem a velocidade do veículo, a reduz quando existe um veículo a sua frente, evitando possíveis colisões. Sistemas mais avançados podem tomar a iniciativa de travar ou mesmo desviar de obstáculos, tirando o veículo de uma situação de perigo. Uma característica fundamental em SACV é a sua autonomia, pois ele deve ser capaz de tomar decisões sem a orientação do condutor.

Sistemas Avançados de Transportes Rurais (SATR): Ao contrário dos meios urbanos, os meios rurais não sofrem congestionamentos, por isso os SATR visam basicamente a segurança. Situações como saída da pista e perdas de controle do veículo são tidas como centro de orientações neste tipo de sistema. Os SATR auxiliam ainda na redução de custos e na maior satisfação dos usuários, auxiliando com problemas relacionados ao tempo de viagem e redução de acidentes.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação pode ser classificado como uma categoria intermediária de SATP, aplicados a transportes genericamente, pois auxiliam tanto condutores de transportes públicos como condutores de veículos de toda a natureza.

2.3 Sistemas de recomendação de rotas (SRR)

Recomendar rotas de maneira eficiente é um desafio, devido a diversos fatores. Primeiro, são necessárias informações sobre a rede de vias, pois o ambiente de condução é muito rico e sofre influências de muitos fatores. Segundo, informações relevantes não estão normalmente disponíveis, assim como níveis de congestionamento das vias e outros fatores dinâmicos. Ainda, alguns aspectos são impossíveis de codificar, como preferências pessoais, que variam para cada indivíduo.

Atualmente existe um grande volume de informações sobre fatores relacionados ao trânsito, como o clima, o usuário ou o veículo. Estas informações estão facilmente

acessíveis, no entanto, a maioria delas apresenta-se pouco estruturada e, desta forma, possuem pouca relevância ao usuário. Assim, os sistemas de recomendação utilizam ferramentas que os auxiliem na filtragem destas informações relevantes, extraíndo o que melhor se encaixa no perfil de interesse do usuário, para então recomendar uma rota (TITO et al., 2012a).

Desta forma, os SRR produzem sugestões individualizadas, e algumas vezes têm a função de guiar o usuário de maneira personalizada, levando em consideração as informações adquiridas anteriormente. Sistemas desta natureza calculam rotas, indicando no mapa o caminho a ser tomado juntamente com o percurso necessário, porém, normalmente não consideram fatores dinâmicos na recomendação (HARRINGTON; CAHILL, 2004).

Um SRR segue normalmente uma sequência de passos: i) para obter uma recomendação, o usuário insere uma consulta em seu dispositivo móvel ou web; ii) o recomendador então gera uma lista de sugestões com base na entrada do usuário e suas preferências; iii) o usuário então faz uma escolha, dentre as sugestões apresentadas; e, iv) o sistema calcula uma rota a partir do local atual para a meta selecionada, considerando um conjunto diversificado de preferências do usuário na geração de rota (LUDWIG; ZENKER; SCHRADER, 2009).

Sistemas de recomendação podem ser classificados em 4 abordagens que se concentram em como a questão é abordada (TERVEEN; HILL, 2001).

Sistemas baseados em conteúdo: Utilizam apenas as preferências dos usuários.

Eles se concentram em recomendar itens semelhantes aos que o usuário obteve no passado. Seu foco está em algoritmos de aprendizagem e na filtragem de conjuntos de itens que mais se assemelhem a essas preferências.

Sistemas de apoio a recomendações: Embora não automatizem o processo de recomendação, pois não precisam representar as preferências ou computar as recomendações, servem como ferramentas para auxiliar o compartilhamento de recomendações, ajudando no processo de recomendação.

Sistemas de mineração social de dados: Mineram preferências implícitas em registros computacionais de atividades sociais, como mensagens trocadas através redes sociais, troca de documentos, histórico do uso de sistemas, citações ou hiperlinks.

Sistemas de filtragem colaborativa: Requerem que as pessoas ao procurarem por recomendações expressem suas preferências. Estes sistemas trabalham com algoritmos para agrupar pessoas através de suas preferências e para mensurar o interesse de pessoas com os mesmos perfis para produzir recomendações.

2.4 Técnicas de Inteligência Artificial aplicadas à Identificação de Congestionamento

Atualmente, o tráfego de veículos nos centros urbanos é um dos grandes problemas enfrentados pelos órgãos públicos. O tempo gasto no trânsito, o consumo excessivo de combustível, a poluição do ambiente e o estresse gerado nos motoristas e passageiros são considerados um dos grandes problemas relacionados ao trânsito. Desta forma, identificação de congestionamento de tráfego desempenha um papel importante na orientação de rota e gestão do tráfego mitigando algum destes problemas (YANG, 2013).

Nos últimos anos, SIT tem alcançado grande desenvolvimento. Sistemas inteligentes aplicados à melhorar a eficiência do sistema de transporte usando técnicas de IA são uma excelente alternativa para modelar e prever parâmetros de tráfego, uma vez que eles podem identificar uma grande diversidade de situações.

A seguir é feita uma apresentação das diversas técnicas de IA que são frequentemente utilizadas como meio de previsão ou identificação de problemas relacionados ao trânsito.

2.4.1 Sistemas Multiagentes

Um Sistemas Multiagentes (SMA) são sistemas compostos por múltiplos agentes inteligentes que interagem através de troca de informações. O objetivo de um SMA é garantir que agentes ao interagirem entre si, sejam capazes de solucionar problemas (FONSECA; RAMOS, 2010). Este conjunto de agentes forma uma sociedade inteligente.

Existem basicamente dois tipos de SMA, os cognitivos e os reativos. Em SMA cognitivos há a representação explícita do ambiente e dos outros agentes, onde cada agente conhece todo o ambiente em que está, assim como todos os outros agentes que estão neste mesmo ambiente. Já em SMA reativos, todo o conhecimento é implícito, um agente só conhece os outros agentes a partir de interações diretas com eles, todo comportamento é baseado em fatores que ele percebe a cada instante, sem manter um histórico de outras ações. Nesta dissertação, devido a natureza do sistema de tráfego, foram abordados os SMA reativos, uma vez que os veículos no trânsito desconhecem os outros veículos que estão fora do seu alcance de visão (TISUE, 2004).

Dado um determinado sistema, denomina-se agente cada uma de suas entidades ativas. Este conjunto de agentes forma uma sociedade inteligente. O resultado da aplicação de SMA é uma emergente funcionalidade, que supera as capacidades individuais de cada agente, desta forma, são normalmente utilizados para resolver problemas difíceis ou impossíveis de solucionar com um único agente ou em sistemas

monolíticos (WOOLRIDGE; WOOLDRIDGE, 2001).

Desta forma, é possível afirmar que SMA simplificam a resolução de problemas, dividindo o conhecimento necessário em subunidades denominadas agentes inteligente. Por esta razão, a metodologia é conhecida como inteligência artificial distribuída (IAD). A IAD se preocupa essencialmente com a resolução de problemas onde diversos agentes resolvem subtarefas interagindo entre si (VLASSIS, 2007).

As principais áreas onde se aplicam SMA são os chamados agentes físicos, robôs. Porém, SMA têm demandado a utilização crescente no domínio de várias áreas ligadas ao planejamento do território, nomeadamente ao nível da Geografia, da Sociologia, da Engenharia, do Urbanismo e da Gestão Ambiental, através do desenvolvimento de modelos baseados em agentes. Além disto, pesquisadores tem se especializado na simulação de sociedades, que constituem sistemas complexos por natureza (OPREA; DRAGOMIR; CARBUREANU, 2011).

Exemplos de tais aplicações podem ser vistos em Lorenzi et al. (2011), que apresentam um sistema multiagente para recomendação de rotas que permite ao agente fazer suposições sobre as preferências dos usuários, com base em sua própria base de conhecimentos. Este sistema integra o conhecimento local de vários agentes e lida com a falta de informação fazendo uso de suposições para construir a recomendação (LORENZI et al., 2011).

2.4.2 Inteligência de Enxames

Uma abordagem interessante de SMA é a utilização de técnicas de inteligência de enxames (do inglês, *Swarm Intelligence*), como a organização de colônias de abelhas e alocação de tarefas entre sociedades de insetos. A dinâmica da sociedade de insetos é resultado de diferentes ações entre a população, bem como entre a população e o ambiente. Esta interação entre agentes cria um sistema de comunicação que contribui para a formação da "Inteligência Coletiva" atribuída a sociedade de insetos. Esta técnica surgiu a partir de observações e estudos do comportamento de seres vivos normalmente em busca de alimento (BLUM; MERKLE, 2008).

Inteligência de enxames ou inteligência coletiva tem sido aplicadas com sucesso em problemas de otimização dinâmica em vários domínios, tais como, o problema do caixeiro viajante, os problemas de atribuição quadrática, o balanceamento de carga e o problemas de roteamento de veículos. Estes são apenas alguns exemplos onde inteligência de enxames é aplicada (TEODOROVIC, 2008).

Exemplo de aplicações desta natureza podem ser vistas em Lucic et al. (2003), que introduziram sistemas de abelhas como uma nova abordagem na área de enxames inteligentes, aplicados a problemas de engenharia de transporte. Eles desenvolveram uma nova heurística para o problema do caixeiro viajante definindo um ambiente artificial de abelhas; (HOAR; PENNER; JACOB, 2002) utilizam técnica de enxame in-

teligente inspirada no comportamento de colônias de formigas, para otimizar o tempo das sinaleiras; e ainda (SANTOS; BAZZAN, 2012), que utilizaram a técnica de enxame inteligente inspirada no comportamento de sociedade de abelhas para a alocação de tarefas usando clusterização, agrupando agentes por habilidades, considerando sociedades de abelhas e como elas coletam o melhor néctar das fontes disponíveis através de regras simples de comportamento.

A utilização de enxames de insetos inteligentes já vem sendo também aplicada em problemas de encontrar rotas mais curtas entre cidades (caixeiro viajante), como é o caso de Lucic et al. (2003), que desenvolveram uma nova heurística para o problema do caixeiro viajante configurando um ambiente artificial de abelhas, onde cada abelha é um agente desempenhando atividades definidas pelo modelo e a comunicação (LUCIC; TEODOROVIC, 2003).

2.4.2.1 Otimização por Colônia de Formigas

A otimização por colônia de formigas (Ant Colony Optimization - ACO) é uma heurística recente para a solução de problemas combinatórios. Ela é inspirada na observação de comunidades de formigas e sua organização para encontrar fontes de alimentos (BARBOSA, 2013).

Experimentos foram realizados para entender este comportamento, e mostraram que formigas tem a capacidade de descobrir o caminho mais curto para a fonte de alimento muito rápido. Foi observado que apenas as primeiras formigas escolhem aleatoriamente o caminho, assim, as que optam pelo mais curto retornam mais rapidamente ao ninho (Figura 1). Desta forma, a probabilidade de escolher o caminho mais curto aumenta continuamente e rapidamente todas as formigas passam a usar o caminho mais curto (TEODOROVIC, 2008).

A ACO se baseia neste comportamento, considerando que cada formiga que caminha por uma trilha deposita certa quantidade de feromônio, com isso, as próximas formigas seguirão pelo caminho com uma probabilidade proporcional à quantidade de feromônio presente nesse caminho e, assim, reforçando o feromônio atual com o seu próprio feromônio depositado (BARBOSA, 2013).

ACO foi o primeiro algoritmo de inteligência de enxames a ser desenvolvido, ele é utilizado no desenvolvimento desta dissertação. Tem sido eficientemente aplicado para resolver o problema do caixeiro viajante, assim como vários outros problemas relacionados à engenharia de transporte e tráfego.

Kurihara (2013) e Narzt et al. (2010) utilizaram a técnica de enxame inteligente inspirada no comportamento de sociedade de formigas (ACO), empregaram esta metodologia para prever congestionamento do trânsito em um ambiente simulado, considerando agentes (sensores) instalados nas interseções das vias, que gerenciam as informações de feromônios. Ando et al. (2006) avaliaram a aplicação de comunicação

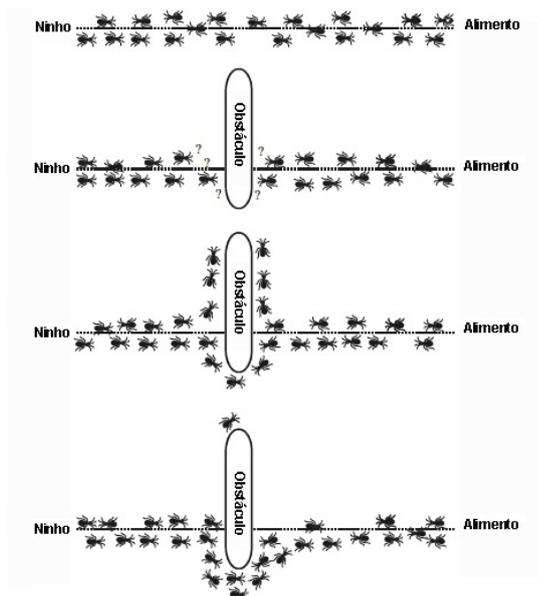


Figura 1: Exemplo do comportamento das formigas (TEODOROVIC, 2008)

por feromônios em condições de tráfego real aplicado a previsão de congestionamento e observaram que o método é eficiente para previsões a curto prazo.

2.4.3 Redes Neurais Artificiais

Redes Neurais Artificiais (RNA) são utilizadas para a previsão de tráfego, devido à sua capacidade de resolver relações não-lineares complexas. desta forma, estão se tornando populares na previsão do tempo de viagem. RNA simulam a capacidade de processamento de dados do cérebro humano, são construídos com várias camadas de unidades de processamento, chamados de neurônios artificiais. Os neurônios contêm funções de ativação (lineares ou não-lineares) e são altamente interligados uns com os outros por processos sinápticos. Muitas RNA diferentes foram propostas nas últimas décadas para fins de previsão (GURMU, 2010).

Alguns autores aplicam RNA para previsão a curto prazo com o objetivo de antever fluxo de tráfego usando dados históricos de trânsito. O modelo incorpora volume de tráfego, velocidade, densidade, hora e dia da semana como parâmetros. Os resultados mostraram que RNA tem um desempenho consistente (KUMAR; PARIDA; KATIYAR, 2013). Há também estudos sobre a eficiência de RNA na previsão de congestionamento a curto prazo, baseado no volume de tráfego. Os resultados das simulações mostram que este tipo de arquitetura tem uma boa capacidade de generalização, devido a habilidade das RNA em reconhecer e classificar padrões através do treino e processo de aprendizagem (YASDI, 1999).

2.4.4 Autômatos Celulares

Essencialmente, um Autômato Celular (AC) é um modelo matemático desenvolvido para simulação computacional, bastante utilizado para modelar fenômenos dinâmicos (KARI, 2005). O conceito de AC foi introduzido por Von Neumann para investigar comportamentos adaptativos e complexos, especialmente de sistemas de auto organização, porém hoje são aplicados a diversos fenômenos físicos, químicos e biológicos (BIANCHIN; INDOVINA; RINALDI, 1999).

Alguns autores definem AC como um sistema dinâmico e determinístico que compreende basicamente de 4 componentes chamados de: células; estados; vizinhança e regras (YEH; LI, 2000). Um típico AC é constituído por: um conjunto de células idênticas; um conjunto de estados finitos; e, regras para a transição entre os estados. Cada regra de transição funciona como um motor das mudanças que ocorrem no AC (LIU, 2009).

A aplicação desta técnica à simulação microscópica de tráfego parece bastante apropriada na representação do trânsito, onde cada via da estrada pode ser dividida em pequenas células, cada uma no comprimento de um veículo. O movimento dos veículos ocorre com a mudança de estado da célula, de acordo com as regras que caracterizam o comportamento do condutor, respeitando sempre as leis básicas da física relativas ao movimento dos veículos, de acordo com o descrito por Nagel et al (1992), que desenvolveram o primeiro modelo de simulação de tráfego microscópico utilizando AC.

Outros pesquisadores têm utilizado esta técnica com o objetivo de estudar a instabilidade do processo de controle de tráfego, responsável pelos fenômenos de congestionamento e de fluxo "pára-arranca", em autoestradas e vias urbanas (WAHLE et al., 2001; CLARRIDGE; SALOMAA, 2009).

2.4.5 Algoritmos Genéticos

Um Algoritmo Genético (AG) é uma técnica que se baseia nos mecanismos da seleção natural e da genética, com a ideia de modelar gerações para descrever tendências de desenvolvimento. Foi introduzida inicialmente por Goldberg (1989), chamada de modelagem de terceira geração. Esta técnica é normalmente utilizada para resolver problemas de otimização e busca, procurando soluções aproximadas (CHEN; JAKEMAN; NORTON, 2008).

AG foram desenvolvidos com o intuito de serem utilizados como estratégias de pesquisa geral sobre populações de soluções possíveis. Podem ser descritos como mecanismos que imitam a evolução das espécies, resultando daí a sua designação. Um AG procura produzir boas soluções através de uma sequência de transformações de uma população de soluções aleatórias. Estas transformações constituem a fase chamada de recombinação, e pode ser realizada por três tipos de operadores simples:

seleção, cruzamento e mutação (GOLDBERG, 1989).

Estes operadores tem a possibilidade de identificar propriedades boas nos indivíduos e as combinam em uma nova população que terá as características da melhor solução. O processo se repete até que se atinja alguma solução ótima, ou próxima da ótima, ou ainda, após decorrido um determinado número de iterações.

Na bibliografia podem ser encontradas aplicações de AG em alguns contextos de sistemas de transporte, assim como na otimização de sinais de tráfego, no projeto de redes de transporte e na transferência dinâmica de tráfego (FIGUEIREDO, 2005). Sadek et al. 1997 desenvolveram um simulador de tráfego baseado em AG, eles concluem que os algoritmos genéticos têm um melhor desempenho em relação a técnicas mais tradicionais como a programação não linear, pois conseguem lidar com problemas de maior dimensão obtendo melhores resultados mais rapidamente. Um método de planejamento de rotas dinâmicas foi desenvolvido por Kanoh (2007), onde a solução proposta usa um AG adotando infecção viral (SADEK et al., 1997).

2.5 Simulação em SIT

A simulação é uma das principais ferramentas para modelar, estudar e analisar comportamentos de sistemas. Muitas conclusões podem ser tiradas a partir de resultados obtidos sobre um modelo. Hoje em dia ela é usada para encontrar soluções no desenvolvimento de sistemas e para análise de viabilidade de novas propostas (TOLEDO, 2007).

De modo geral, um modelo de simulação é uma representação simplificada de um sistema, que se destina a analisar problemas no sistema proposto, além de ser um grande auxílio na compreensão de como o sistema se comporta, ou na avaliação dos impactos.

Para os sistemas de tráfego e de transporte, a simulação também pode ser bastante útil para estudar, desenvolver e analisar novos modelos, bem como medir o impacto destas aplicações no sistema, nas decisões de gestão de tráfego, ou em cenários onde não seria possível experimentar a eficiência de uma nova ferramenta.

Assim, no sentido de prever, analisar, planejar e recomendar rotas, se torna cada vez mais necessária a utilização de técnicas de simulação e modelagem do fluxo de tráfego, com o propósito de avaliar o comportamento do veículo em função das condições da pista, do veículo, do condutor, ou ainda de outros parâmetros que podem ser introduzidos (WAHLE et al., 2001). Os modelos de simulação existentes não satisfazem completamente as necessidades das aplicações SIT por não serem capazes de simular totalmente, em tempo real, os fenômenos que ocorrem no ambiente.

As técnicas de simulação permitem a representação dinâmica de sistemas de transporte e são capazes de reproduzir propriedades importantes do escoamento de

tráfego real, objetivando facilitar seu entendimento, análise, projeto e/ou controle e calibração de parâmetros para o sistema real (FIGUEIREDO, 2005). Os modelos de simulação descrevem os aspectos relevantes da dinâmica de escoamento do trânsito em tempos melhores e com melhores resultados que as análises em tempo real, realizadas sem simulações (DAS; SAHA; SIKDAR, 2009).

Neste contexto, várias situações são possíveis de ser simuladas, tais como: congestionamentos; funcionamento de semáforos; paradas de transportes públicos; acidentes; além do fluxo de tráfego. Modelos para simulação de tráfego são adequadas para analisar, quantificar e identificar fenômenos que possam ocorrer, dando uma visão geral do tráfego e possibilitando que problemas sejam avaliados e as possíveis soluções sejam projetadas. Além disso, permite que todas as técnicas possam ser testadas sem interferência no tráfego real.

A modelagem é uma ferramenta que pode ser utilizada *off-line* para o desenvolvimento e análise de uma série de problemas relacionados com o controle e informação de tráfego, permitindo que previsões sejam feitas a partir do cruzamento dos dados históricos com informações atuais. Um modelo de simulação de fluxo de tráfego permite analisar o efeito de qualquer tipo de alteração do sistema, da rede de estradas, dos veículos ou ainda do comportamento do condutor.

2.5.1 Classificação dos modelos de simulação de tráfego

A simulação de tráfego possui características complexas devido ao seu comportamento dinâmico (que pode ser estocástico ou determinístico), às transições de estados (que podem ser estáveis ou instáveis) e à uma série de outros fenômenos com características dinâmicas. Desta forma, os modelos de simulação de tráfego podem ser classificados de acordo com vários critérios, tais como: a avaliação do comportamento das variáveis independentes; a representação dos processos; e, os níveis de descrição.

A avaliação do comportamento das variáveis independentes está diretamente relacionada a posição, velocidade e tempo. Porém, os modelos de simulação de tráfego normalmente descrevem sistemas dinâmicos onde o tempo é uma variável independente. A classificação considerando o tempo é a mais usual e pode ser distinguida como: tempo contínuo e discreto.

A representação dos processos pode ser feita por modelos determinísticos onde as entidades representadas no modelo são definidas através de relações exatas entre entidades, ou estocásticos, que incorporam e modelam processos que incluem variáveis aleatórias ou funções de probabilidade (FIGUEIREDO, 2005).

A classificação quanto ao nível de descrição da representação de um modelo de fluxo de tráfego pode ser caracterizada como macroscópicas, microscópicas e mesoscópicas (WAHLE et al., 2001):

Microscópicos: São modelos que estudam o comportamento do veículo individualmente, assim, possuem um nível elevado de detalhamento. Medidas microscópicas podem ser posição e velocidade de cada veículo. Este é normalmente o critério adotado para classificar os modelos de tráfego, desta forma, somente estes modelos serão utilizados e abordados neste trabalho.

Macroscópicos: São modelos que normalmente estudam descrições globais do fluxo do tráfego, e pode contemplar as medidas como velocidade, fluxo e densidade.

Mesoscópicos: É um híbrido entre as anteriores. Normalmente a representação da maior parte das entidades é com um nível de detalhamento elevado, e as suas atividades e interações são descritas a um nível mais baixo de detalhes.

2.5.2 Modelos Microscópicos

O modelo de simulação microscópico descreve o comportamento individual das entidades do sistema ao longo do tempo (por exemplo: veículos), e as suas interações, com um nível de detalhamento bastante elevado (SUKTHANKAR; HANCOCK; THORPE, 1998). Os componentes principais de um modelo de simulação de tráfego microscópico são:

- a geometria da rede de estradas;
- o comportamento individual dos veículos;
- o controle e planejamento de tráfego.

Assim, pode-se dizer que a simulação microscópica é essencialmente utilizada para avaliação de cenários, podendo ainda ser utilizada em tempo real como parte da operação do sistema para o controle da rede de tráfego. Esta avaliação de cenários objetiva principalmente estudar o controle dinâmico do tráfego para possibilitar o desenvolvimento de estratégias para orientação de rotas ou percursos em tempo real e de sistemas de controle de faixas de rodagem.

Existem vários modelos de simulação microscópica de tráfego, entre os quais se destacam aqueles que representam o comportamento da aceleração. Neste caso incluem-se os modelos seguidor de veículo (*car-following*), os modelos de fluxo livre (*free-flow*) e ainda os que modelam o comportamento de mudança de faixa (*lane changing*).

Os modelos de (*car-following*) modelam filas de veículos que interagem entre si, onde a velocidade de cada veículo é definida em função da velocidade do seu predecessor. Os modelos de (*free-flow*) são aplicados quando o espaçamento entre

veículos é elevado, ou seja, quando o veículo da frente não interfere no comportamento do veículo em circulação, os condutores tentam atingir uma determinada velocidade e não seguem o comportamento do veículo da frente. E, por fim, os modelos de (*lane changing*) que têm por objetivo modelar o comportamento de mudança de faixa de rodagem, manobras estas que ocorrem quando há uma ultrapassagem ou uma mudança de direção, e só é possível se existir espaço disponível na faixa de destino.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta um estudo acerca de um conjunto representativo das propostas que vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos no contexto de Sistemas Inteligentes de Transporte. As características tratadas abrangem aspectos relacionados a arquitetura de software, bem como as estratégias empregadas para a previsão ou identificação de congestionamento. O critério de escolha destes trabalhos relacionados foi a sua proximidade com o objetivo desta dissertação. Uma discussão dos trabalhos e uma análise comparativa entre estes e o ACORoute também serão apresentadas.

3.1 UbiBus: um SIT para transporte público

O UbiBus é um Sistema de Transporte Inteligente que faz uso de Informações Contextuais e Computação Ubíqua para melhor se adaptar às situações do trânsito e oferecer suporte aos usuários em qualquer lugar que eles se encontrem. Tem como objetivo facilitar o dia-a-dia das pessoas que utilizam transporte público, oferecendo acesso inteligente a informações de transporte público, em tempo real, baseado em informações dinâmicas de contexto que dizem respeito aos meios de transporte. Sua interface é apresentada na Figura 2 (TITO et al., 2012b).

A arquitetura do UbiBus é composta por 3 partes: i) uma *camada de aplicação* que contém os diferentes tipos de aplicações desenvolvidas para a infraestrutura do UbiBus, se ajustando às diferentes plataformas e dispositivos (tais como: Web, *desktop*, PDAs, celulares, terminais, etc) disponíveis nas paradas e *displays* dentro dos ônibus; ii) uma *camada de Middleware* que facilita a comunicação e coordenação entre os componentes de software distribuídos de modo transparente ao usuário, proporcionando o compartilhamento e reutilização dos componentes da arquitetura; e, iii) uma *camada de dados* que é responsável pelo gerenciamento e processamento das informações que são utilizadas para identificar obstruções no fluxo do tráfego e o seu nível (por exemplo: lento, moderado, congestionado, etc).

Nas próximas subseções são apresentadas algumas aplicações do projeto UbiBus

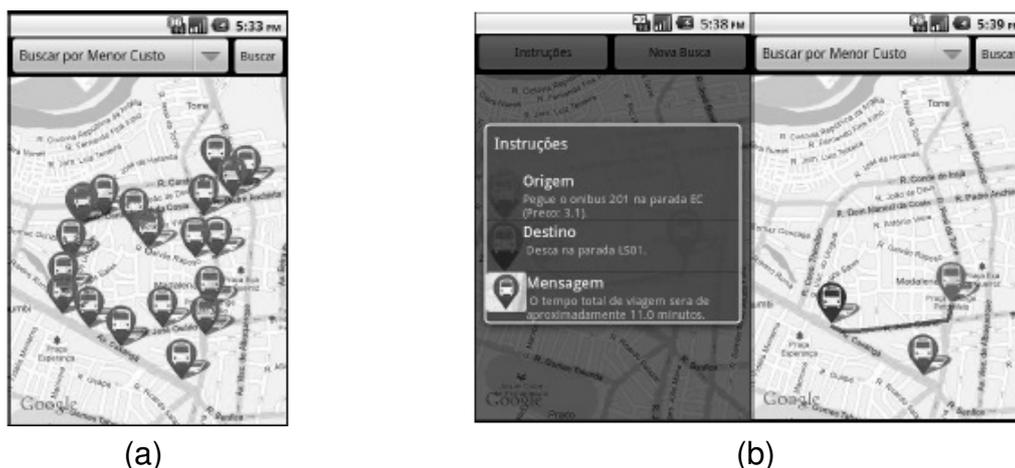


Figura 2: Uso do Ubibus: maps (a) mostrando paradas cadastradas e (b) informações da rota recomendada

em desenvolvimento.

3.1.1 UbibusRoute: um sistema de recomendação de rotas para o transporte público

O UbibusRoute é um sistema de recomendação de rotas de ônibus baseado em informações contextuais dinâmicas extraídas de redes sociais. O sistema calcula as possíveis rotas, indicando no mapa o caminho a ser tomado, incluindo os transportes a serem utilizados.

O UbibusRoute foi projetado em uma arquitetura cliente-servidor onde o cliente é um aplicativo nativo do sistema operacional móvel que se comunica com o servidor seguindo algum protocolo padrão fornecido pelo mesmo. A aplicação conta com uma base de dados contextuais de trânsito e outra contendo dados estáticos ??.

O servidor é dividido em três componentes principais: i) o *identificador de rotas* que é responsável por identificar todas as rotas possíveis de acordo com a localização ou parada de ônibus selecionada; ii) o *indicador de rotas* que é responsável por selecionar a melhor rota de acordo com a preferência do usuário (tempo, preço ou distância); e, iii) o *gerenciador de contexto* que colhe informações de redes sociais e verifica como o trânsito está naquele momento (LIMA et al., 2012).

3.1.2 YCT: Your City on Time

O YCT é uma aplicação que usa informações contextuais para estimar tempo de chegada de ônibus em uma estação. Um mapa é usado para contextualizar os dados de localização e uma tabela mostra as linhas de ônibus que servem esta estação, a distância e hora de chegada prevista para os ônibus daquelas linhas. Resumidamente, o YCT tem como funcionalidade adquirir e inferir em tempo real, informações de contexto para estimar um tempo de chegada de ônibus em uma estação de ônibus (VI-

EIRA; CALDAS; SALGADO, 2011).

O usuário final não interage diretamente com o sistema, ele apenas visualiza um conjunto de informações que pode oferecer alguma ideia sobre a hora de chegada do ônibus. Para fazer o cálculo do tempo estimado de chegada, o sistema considera elementos contextuais, tais como: identificação e localização de ônibus, localização da estação e do nível de congestionamento de tráfego em certos trechos de algumas rotas.

Em Vieira et al. (2011) foi desenvolvido um protótipo, e para avaliação, foi simulado um cenário em condições similares a encontradas em ambiente real, para tal, foram utilizados dados da cidade de Salvador na Bahia. Os resultados preliminares mostraram que informações de contexto ajudam na estimativa de tempo de chegada dos ônibus, proporcionando mais precisão.

3.1.3 EPITrans: extração, processamento e inferência de informações de transporte

O EPITrans é uma aplicação que oferece informações úteis de trânsito atualizadas e extraídas a partir de mensagens das redes sociais (FaceBook). Ele explora a cooperação entre os usuários de redes sociais, pela extração e mineração de informações relacionadas ao trânsito nas cidades. Com base nestas informações, um mapa navegável aponta as situações de trânsito, informados pelos usuários (VIEIRA et al., 2012).

3.2 Waze Social GPS Maps

O WAZE é uma aplicação de navegação gratuita e multiplataforma para *smartphones* equipados com GPS. Além da navegação tradicional por GPS que fornece informações sobre a rota e o tempo estimado de chegada ele propõe o uso de informações sobre a situação do trânsito em tempo real, as informações que ele considera são: trechos com engarrafamento; acidentes; objetos na via; radares móveis; blitz; entre outros. Essas informações sobre o estado do trânsito são fornecidas pelos próprios usuários, que exercem um trabalho colaborativo.

Ele difere dos tradicionais softwares de navegação por ser desenvolvido para uma comunidade, reunindo dados e informações de mapas dos usuários que utilizam o serviço. As notificações feitas pelos usuários ficam disponíveis, permitindo a toda comunidade saber se há ocorrência de engarrafamento ou acidente nas vias próximas a sua localização. Além de informações sobre uma diversidade de outros incidentes, o WAZE envia constantemente informações anônimas de velocidade e localização dos usuários, para melhorar o sistema como um todo (WAZE, 2013).

O WAZE é bastante efetivo desde que a sua rede de usuários seja completamente

ativa, publicando informações que irão ajudar outros usuários. Para estimular o uso do aplicativo, há um sistema de premiação onde os usuários que reportam informações sobre o trânsito, e mantêm o Waze ligado, somam pontos, assim como os usuários que fazem correções no mapa.

Como forma de retirar informações erradas do mapa, ao exibir uma publicação recém criada, o aplicativo exibe uma opção para que outros usuários possam validar tal informação. O WAZE não utiliza somente informações de sua rede de usuários, ele utiliza também informações do centro nacional de informações de tráfego. A Figura 3 apresenta a interface do Waze em execução.

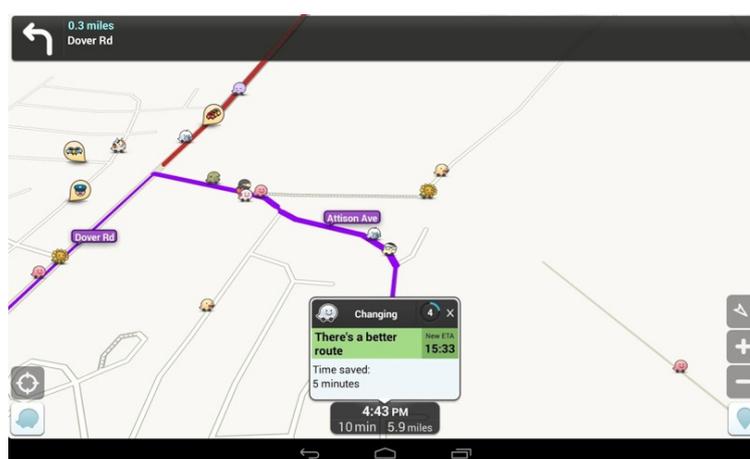


Figura 3: Interface Gráfica do Waze

3.3 ROSE: *RO*uting *SER*vice

ROSE é um sistema de recomendação, planejamento de rotas e navegação para dispositivos móveis. Ele integra preferências de múltiplos usuários e regras de decisão em um processo de planejamento de rotas. ROSE tem como objetivo sugerir ao usuário de transporte público eventos e locais, guiando-os até eles (ZENKER; LUDWIG, 2009). Informa ainda o melhor meio de transporte possível para acompanhar o passageiro durante toda a sua rota. A Figura 4 apresenta a interface do Rose em funcionamento.

Para considerar as preferências do usuário no cálculo de rota, foi proposta uma função heurística utilizada para encontrar caminhos ideais em grafos. Desta forma, para o cálculo da rota mais curta foi utilizada variação do algoritmo A* com multiatributos, possibilitando considerar as preferências dos usuários.

Os critérios para avaliar a qualidade de uma rota são limitados principalmente por restrições formais ditadas pela próprio algoritmo, neste caso, o A*. Do ponto de vista algorítmico, isto significa que a abordagem do caminho mais curto padrão não pode ser aplicada com sucesso para satisfazer as necessidades do utilizador.

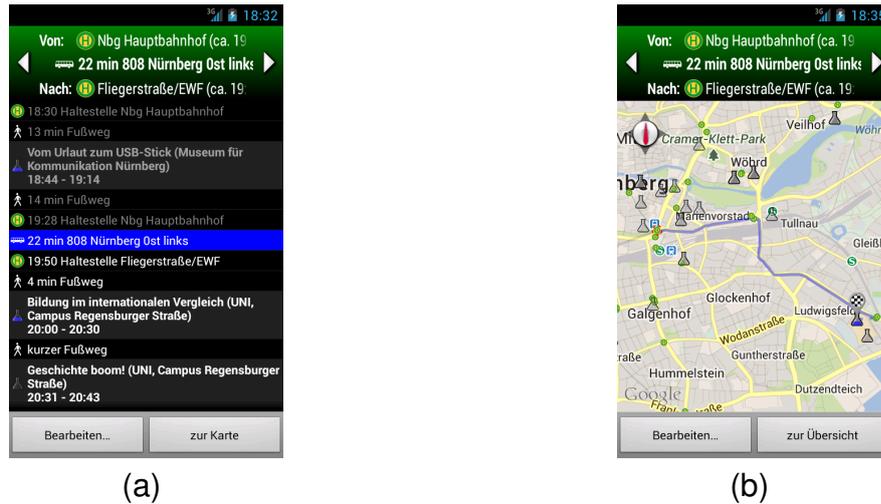


Figura 4: Interface Gráfica do Rose: (a) Resultado da busca; (b) Mapa mostrando a rota escolhida

No entanto, usar uma função heurística que obriga uma busca exaustiva em todo o espaço de busca não é atraente para programas que executam em tempo real, assim, uma solução eficiente, que pertence a classe de complexidade do A^* , e mantém sua eficiência é: a) usar uma função heurística exaustiva para calcular soluções e b) incorporar uma função heurística multiatributos para considerar as preferências do usuário na busca.

Neste contexto, Ludwig et al. (2009) propõe um algoritmo ótimo para incorporar as preferências do usuário em uma variação do algoritmo A^* . No primeiro protótipo foi implementada a abordagem dos n melhores, considerando preferências dos usuários, com o objetivo de obter uma plataforma de avaliação mais rápida possível.

O sistema ROSE foi testado em um grande evento, com mais de 20.000 pessoas, para recomendar subeventos e calcular suas rotas usando a rede de ônibus local. Um problema encontrado foi que o tradicional algoritmo para encontrar o caminho mais curto tem pouco em comum com o caminho mais curto para transporte público, desta forma, foi necessário adaptá-lo.

3.4 PECITAS: *Personalized Mobile City Transport Advisory System*

O PECITAS foi desenvolvido pensando nos cidadãos e visitantes da cidade de Bolzano, na Itália. O sistema fornece recomendação de rotas personalizadas, diretamente no dispositivo móvel. Ele considera rotas de transportes públicos ou caminhada. As rotas são calculadas considerando as preferências dos usuários (TUMAS; RICCI, 2009). A Figura 5 ilustra a interface gráfica do aplicativo.

Os usuários interagem com o sistema através da aplicação instalada em seu dis-



Figura 5: Interface gráfica do PECITAS: (a) seleção de origem e destino; (b) preferências do usuário

positivo móvel. Para calcular as rotas PECITAS usa um algoritmo de geração e ranqueamento baseado no algoritmo PFS (*pattern first search*) que calcula a rota ótima para redes de trânsito, este algoritmo é muito similar ao algoritmo de Dijkstra (HUANG, 2007). A diferença entre o algoritmo do PECITAS e o PFS é que o primeiro gera múltiplas rotas e faz um ranqueamento entre elas considerando o perfil do usuário.

Apenas 5 tipos de perfis podem ser gerados e são como seguem: i) usuário quer encontrar a rota mais rápida; ii) possibilidade de alterar a partida em 10 minutos; iii) usuário precisa caminhar nas ruas centrais; iv) usuário pode somente andar; e, v) usuário quer encontrar a rota mais curta (Figura 5(b)).

As diferenças encontradas no perfil da viagem vão gerar o ranqueamento. O inconveniente é que não é disponibilizada uma rota de imediato para o usuário, as alternativas são dadas para o usuário, que deve escolher sua preferência de viagem.

3.5 Planejamento de rotas dinâmicas utilizando o modelo de infecção viral e AGs

Em Kanoh (2007) foi proposto um método de planejamento de rotas dinâmicas usando mapas de estradas reais. A solução proposta usa Algoritmo Genético (AG) adotando a técnica de infecção viral. O método consiste em utilizar uma população de vírus para uma população de rotas. Quando ocorrem mudanças no fluxo do tráfego durante o trajeto, uma rota alternativa pode ser selecionada em tempo real.

Em condições reais, os níveis de congestionamento variam muito ao longo da viagem, assim, a rota deve ser reavaliada sempre antes de uma interseção, ou seja, em tempo de uma tomada de decisão. Desta forma, as soluções normalmente usadas para este problema, tais como *Dijkstra* e *A** não são apropriadas para este cenário dinâmico. Desta forma, extensões dos algoritmos *A** e *Dijkstra* foram propostas para

aplicações em tempo real, considerando a dinâmica das rodovias (CHABINI; LAN, 2002).

O método proposto busca melhorar a taxa de busca dando uma direção a evolução usando *crossover* e infecção. Soluções parciais são consideradas como sendo vírus. Este método permite acumular soluções parciais usando infecção. As rotas da população são avaliadas por uma função de *fitness*.

Para avaliar o método proposto, eles desenvolveram um simulador de fluxo de tráfego usando AC. O simulador utiliza mapas padrão, os mesmos usados pelos dispositivos de navegação (GPS). Para tanto, foi implementado o modelo de (NAGEL; SCHRECKENBERG, 1992) em AC.

Com base nos resultados experimentais, ficou entendido que abordagem usando infecção é eficiente e resolve o problema de roteamento dinâmico, e ainda, que este método se mostrou superior ao utilizando algoritmo *Dijkstra*.

3.6 ACO híbrido para previsão de tráfego em uma grande área de rede de estradas

Este trabalho apresenta uma solução para previsão de tráfego com o objetivo de agilizar serviços de entrega a domicílio em grandes cidades, em tempo real, considerando a dinâmica do trânsito. O método utilizado para encontrar o tempo mais curto de viagem foi uma metaheurística híbrida que combina Optimização por Colonia de Formigas (ACO) com o algoritmo *Dijkstra*. No método proposto, as rotas são previstas pelo algoritmo de *Dijkstra* e a lista de clientes a ser visitados é construída pelo ACO (OCHIAI; KANOH, 2014).

A técnica de busca usa a situação do tráfego em tempo real e previsão de tráfego em mapas de estradas reais. A situação do trânsito é verificada com detectores instalados nas vias. Para avaliar o desempenho do método, foram feitos experimentos usando a biblioteca de exemplos de instâncias do caixeiro viajante (TSPLIB), com exemplos de vários tamanhos. A Figura 6 mostra exemplos de rotas obtidas pelo método proposto.

Experimentos foram feitos também com o mapa das vias de Tokio, considerando restrições do mundo real, uma vez que o número de clientes que um vendedor pode visitar em um dia é, no máximo, 200.

Foram comparados o tempo mínimo obtido pelo método proposto com alguns métodos convencionais, e os resultados experimentais mostram que o método proposto é eficaz em uma ampla rede de estradas.

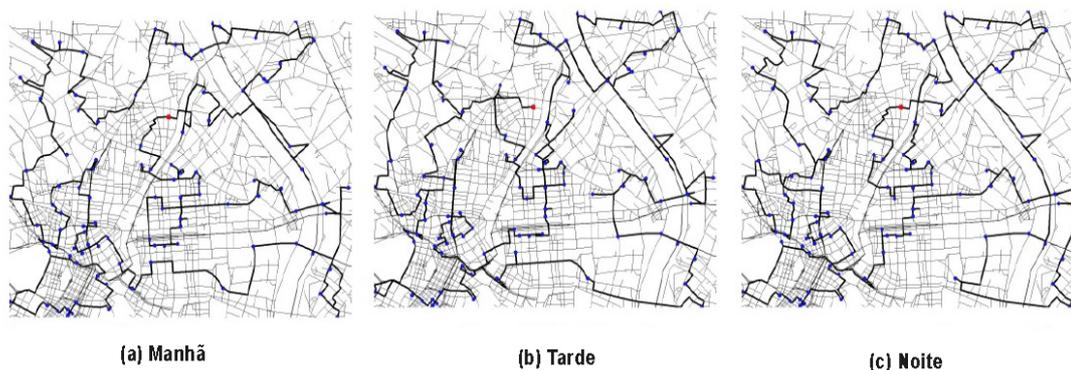


Figura 6: Rotas obtidas pelo método proposto

3.7 VAIPho: rede veicular para *smartphones*

Em (CABALLERO-GIL; CABALLERO-GIL; MOLINA-GIL, 2013) apresenta-se um sistema de comunicação seguro, para redes veiculares auto-organizadas baseadas em dispositivos móveis com GPS e conectividade Wi-Fi. Ele não requer qualquer infraestrutura veicular ou das vias, pois seu funcionamento é completamente distribuído e descentralizado.

O principal objetivo do VAIPho é aumentar a segurança e o conforto de motoristas através da troca de mensagens com advertência sobre congestionamento no trânsito. Permitindo ainda, obter algumas vantagens adicionais, como identificação de vaga de estacionamento, protegendo a privacidade e integridade dos dados. A ideia é que os usuários possam colaborar através de seus dispositivos móveis e assim, obter informações atualizadas sobre a situação do tráfego, com o objetivo de escolher a melhor rota para o seu destino.

O VAIPho foi testado para Android, Windows Phone e Symbian e está sendo desenvolvido para IOS (Figura 7). A eficiência e viabilidade do VAIPho foram demonstradas através de simulação que foi implementada analisando mobilidade dos veículos. A simulação mostrou que o VAIPho pode ser efetivamente implantado em situações urbanas atuais.

3.8 Algoritmo de previsão de congestionamento baseado na comunicação por feromônios

Neste trabalho foi proposto um sistema de previsão de congestionamento que reage dinamicamente para alterar as condições do trânsito. Ele é baseado em um mecanismo de coordenação que utiliza o modelo de comunicação por feromônios. Sua principal característica é a habilidade de prever congestionamentos a curto prazo (KURIHARA, 2013). Existem muitos estudos nesta área, porém poucos para previsão a curto prazo.



Figura 7: Interface gráfica do VAIpho: (a) durante o percurso; (b) do usuário pedestre

Este modelo é baseado em SMA e tem o foco voltado para as vias, ou seja, agentes são distribuídos pelas vias, sendo instalados estrategicamente nas interseções. Estes agentes se comunicam para prover a previsão de congestionamento. Para implementar o algoritmo de previsão de congestionamento, os autores adotam o modelo de comunicação por feromônios, que é baseado no comportamento social de insetos, neste caso, formigas.

O método é uma maneira eficaz de previsão de congestionamento onde cada agente gera informações sobre seus feromônios trocando informações com agentes vizinhos. Cada agente instalado nas interseções possui um sensor de contagem de carros que entram e saem do espaço entre 2 interseções. Existe ainda um servidor central para cada via, que recebe as informações e calcula a situação corrente, e de acordo com o número de carros, prevê a possibilidade de congestionamento. A Figura 8 define o ambiente viário.

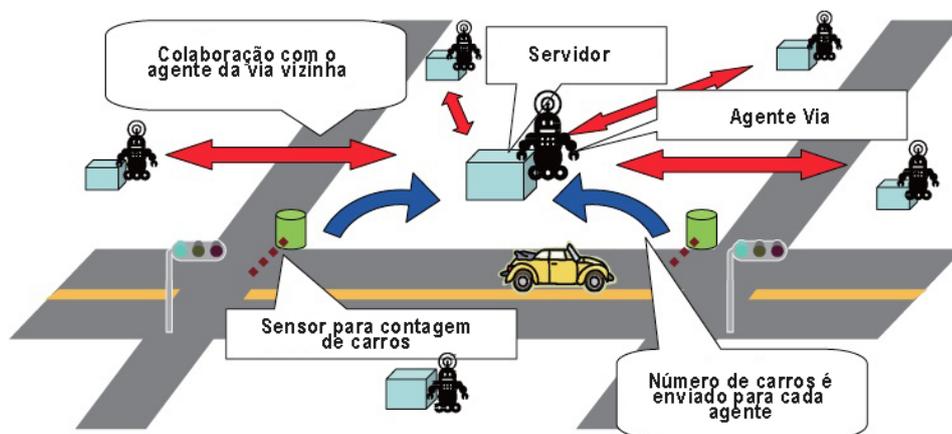


Figura 8: Estrutura do ambiente viário.

Foram realizados experimentos de simulação para verificar a eficiência do modelo de previsão com relação a acidentes e com densidade do tráfego. Os resultados indicam que é uma proposta viável de ser implementada, principalmente no Japão, que já possui uma quantidade e variedade de servidores e sensores instalados nas vias.

3.9 Estratégia auto-organizada para evitar congestionamento usando feromônios

O estudo desenvolvido por Narzt et al. (2010) investigou a técnica de inteligência de enxames aplicada a sistemas de tráfego e avalia várias estratégias para evitar congestionamentos. Desenvolveram um modelo de simulação microscópico para simular redes de vias de cidades reais que avalia o efeito da auto-organização do fluxo de tráfego.

Como o fluxo do tráfego é um processo dinâmico e depende de eventos previsíveis e imprevisíveis, o cálculo do tráfego ideal requer uma abordagem dinâmica, por isto, eles propuseram um conceito que toma a natureza como um guia para entender as características do tráfego e controlá-lo. Assim, seguindo o exemplo da natureza, com a utilização de feromônios e a habilidade de auto-organização é uma alternativa para controle de sistemas de tráfego, onde um coletivo de veículos interage com o ambiente através de "feromônios digitais".

O princípio de feromônios foi adotado para o sistema de tráfego como tecnologia de comunicação e localização, onde cada veículo é equipado com GPS. Através do envio de sinais, é possível modificar o ambiente, depositando feromônios digitais através da transmissão e recebendo informações de localização. Assim, veículos se beneficiam de feromônios virtuais que os tornam capazes de decidir sobre suas rotas subsequentes.

3.10 Modelo de feromônio aplicado a previsão de congestionamento

No trabalho de Ando et al. (2006) foi discutido o uso da dinâmica de feromônios para previsão de congestionamento e proposto um modelo de previsão baseado nesta ideia. O modelo utilizado considera carros como insetos que depositam feromônios nas vias.

Para implementar esta ideia e torná-la viável foi necessário utilizar uma categoria de infraestrutura de transporte instalada em veículos, chamados de sistemas de sondas (Figura 9) que tem função de coletar dados e trocar informações com centrais de monitoramento de tráfego (Figura 10).

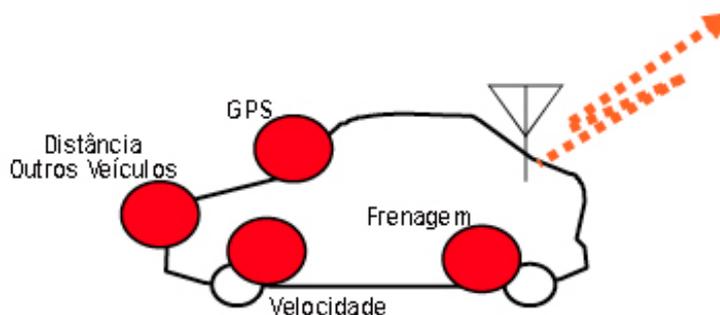


Figura 9: Sistema de monitoramento do veículo (Probe car)

As informações transmitidas pelo sistema de sondas são: distância entre carros; velocidade; informações de frenagem; e, informações de localização. Neste método, a previsão é feita empregando o mecanismo de feromônio e o sistema intraveicular combinado com servidores (MASUTANI et al., 2006).

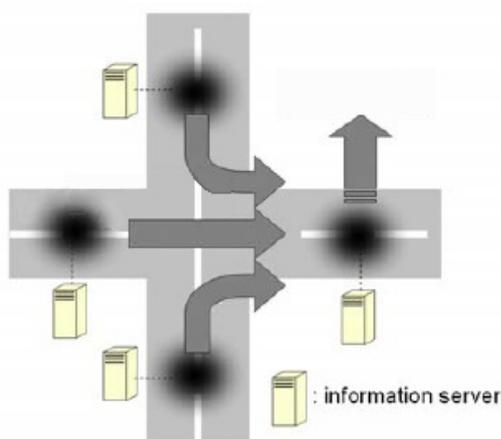


Figura 10: Modelo - Servidores de informação

O desenvolvimento do sistema de feromônios foi feito considerando 2 componentes: i) o *agente* que deposita feromônios e reage com o ambiente; e, ii) o *ambiente* que mantém os feromônios e calcula a evaporação e propagação. Esta implementação utiliza a infraestrutura de SIT já existente no Japão, onde os sistemas intraveiculares funcionam como sensores móveis coletando dados de tráfego, que são armazenados e processados para produzir novas informações úteis aos serviços públicos de transporte. O mapa de feromônios é mostrado no sistema de navegação do carro, para isto é necessário que exista comunicação entre o sistema do carro e o servidor de informações.

3.11 Trabalhos Relacionados X ACORoute

O estudo dos trabalhos relacionados foi desenvolvido em duas etapas. Em um primeiro momento, foram apresentadas as principais características destes trabalhos, objetivando identificar as tendências no tema da pesquisa, bem como contribuir com a definição das premissas da proposta.

Em um segundo momento, os trabalhos relacionados foram apresentados, tendo por base aspectos decorrentes das premissas consideradas para concepção desta dissertação. Basicamente, os trabalhos estudados podem ser divididos em 2 grupos: Recomendação de Rotas (vide Tabela 3) e Previsão ou identificação de Congestionamento (vide Tabela 4).

A seguir são apresentadas as principais características encontradas nos trabalhos relacionados (vide Tabelas 3 e 4) além de um comparativo com a proposta desta dissertação (vide Tabela 5) que será apresentada em profundidade a partir do próximo Capítulo. As características (primeira coluna da Tabela), numeradas de 1 a 11, são as seguintes:

1. Tipo de transporte (Público, Individual ou Todos);
2. Usa fontes de informações;
3. Utiliza infraestrutura de trânsito disponível;
4. Utiliza informações de contexto;
5. Para dispositivos móveis;
6. Considera preferências do usuário;
7. Mantém uma base de informações históricas;
8. Tempo real;
9. Faz replanejamento da rota;
10. Prevê congestionamento;
11. Algoritmo para cálculo da rota.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação diferencia-se dos demais trabalhos relacionados, por utilizar recomendação de rotas considerando o fluxo atual nas vias, com o objetivo de evitar rotas com fluxo intenso. O que atende a característica de tempo real, pois avalia a condição de trânsito atual.

O ACORoute propõe a identificação de congestionamentos utilizando a técnica de comunicação baseada em feromônios, que foi também proposta por (ANDO et al.,

Tabela 3: Características dos Métodos de Recomendação de Rotas

Recomendação de Rotas					
	UbiBus Vieira(2011)	WAZE WAZE(2013)	ROSE Zenker(2009)	Planejamento Kano(2007)	PECITAS Tumas(2009)
1	Público	Individual	Público	Individual	Público
2	Sim	Sim	Não	Não	Não
3	Não	Não	Não	Sim	Não
4	Sim	Não	Não	Não	Sim
5	Não	Sim	Sim	Não	Sim
6	Não	Não	Sim	Sim	Sim
7	Não	Sim	Não	Não	Não
8	Não	Não	Não	Não	Não
9	Não	Não	Não	Sim	Não
10	Não	Sim	Não	Não	Não
11	Dijkstra	A*	A*	Dijkstra	PFS

Tabela 4: Características do Métodos de Previsão de Congestionamento

Previsão de Congestionamento					
	Self-organising Narzt(2010)	Pheromone Ando(2006)	Traffic-Congestion Kurihara(2013)	ACO híbrido Ochiai(2014)	VAiPho Caballero-Gil(2013)
1	Individual	Individual	Individual	Individual	Todos
2	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
3	Sim	Sim	Sim	Não	Não
4	Não	Não	Não	Não	Não
5	Não	Não	Não	Não	Sim
6	Não	Não	Não	Sim	Sim
7	Não	Não	Não	Não	Não
8	Não	Não	Sim	Não	Não
9	Sim	Não	Não	Não	Sim
10	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
11				Dijkstra	

Tabela 5: Características do ACORoute

	ACORoute
1	Individual
2	Sim
3	Não
4	Sim
5	Sim
6	Sim
7	Sim
8	Sim
9	Sim
10	Sim
11	A*/Feromônio

2006), (KURIHARA, 2013) e (NARZT et al., 2010) em seus trabalhos. Diferente do adotado nesta dissertação, eles dispõem de infraestrutura disponibilizada pelo sistema de transporte local, tais como sensores e servidores, e/ou dispositivos instalados nos veículos, que coletam, tratam e armazenam dados relacionados ao tráfego. Além disto, ao calcular a rota, o ACORoute utiliza as informações de feromônio na heurística de melhor caminho, enquanto os trabalhos apresentados, ou não traçam rotas, ou utilizam um navegador de veículos comum para calcular, limitando-se a utilizar feromônios apenas para previsão de congestionamento.

Ainda se tratando de previsão de congestionamento, apresentou-se o WAZE, que recomenda rotas evitando locais de fluxo intenso. No entanto, para tal este dispõe exclusivamente da colaboração de outros usuários, que interagem com o aplicativo para informar ocorrências. Com exceção do Waze (2013), que também faz previsão de congestionamento, os demais trabalhos foram resultantes apenas de simulações até o momento, para validar suas técnicas, não existindo ainda aplicações reais.

Considerando recomendação de rotas, verificou-se que o montante de trabalhos estudados estão preocupados em fornecer rotas para usuários de transporte público, levando em consideração suas preferências, como é o caso de Lima et al. (2012) e Zenker et al. (2009). Ou ainda, recomendam rotas para qualquer tipo de transporte, até mesmo indicando trecho a pé, considerando tempo de caminhada entre paradas, exemplo disto é apresentado em (ZENKER et al., 2010) e (KRÜGER et al., 2004).

4 ACOROUTE: SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE ROTAS BASEADO NA COMUNICAÇÃO POR FEROMÔNIOS

Neste capítulo são descritos a visão geral sobre o ACORoute, a proposta de modelo baseado em feromônios para a recomendação de rotas, o procedimento para a criação do mapa de feromônios através do aplicativos Android e o *WebService* responsável pela interoperabilidade dos dados de trânsito e feromônio, do cálculo da rota e do envio do resultado para o usuário.

4.1 Visão geral do ACORoute

O ACORoute é um sistema para recomendação de rota que leva em consideração informações sobre a mobilidade dos veículos. Estas informações são representadas pelo mapa de feromônios. ele foi desenvolvido levando em consideração o mapa da cidade de Pelotas. A Figura 11 mostra qual o princípio de construção do mapa de feromônios através do modelo de comunicação e a ideia geral de funcionamento do sistema.

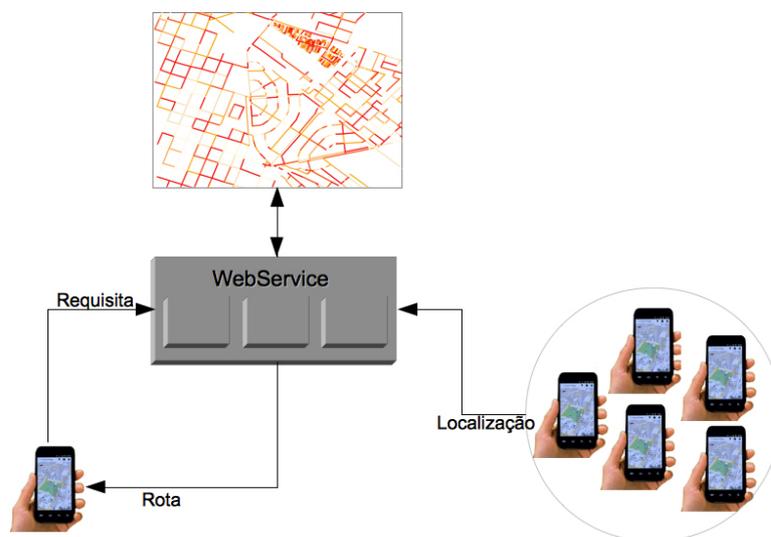


Figura 11: Visão geral do modelo de comunicação

O mapa de feromônios é construído com base na utilização do ACORoute. Os aplicativos enviam periodicamente para o Webservice informações de localização (latitude e longitude). Com base nestas informações o Webservice é capaz de identificar o ponto específico no mapa onde informações de feromônios devem ser depositadas (incrementadas), construindo assim, o mapa de feromônios, que será levado em consideração pelo algoritmo que calcula a rota. Existe ainda a ideia da evaporação, que ocorre quando em um determinado período de tempo em uma determinada posição do mapa, não acontece o incremento de feromônios, acarretando assim no decremento da quantidade atual de feromônios, caracterizando assim, a evaporação.

Para avaliar o modelo de comunicação desenvolvido foram feitas simulações, cujos resultados podem ser vistos no capítulo 5.

4.2 O modelo baseado em feromônios

Neste trabalho, devido a natureza do sistema de tráfego, foi abordada a simulação de Sistemas Multiagente (SMA) reativos, uma vez que os veículos em trânsito desconhecem os outros veículos que estão fora do seu alcance de visão, e reagem através da interação entre eles (TISUE, 2004).

Inicialmente, para parametrização do modelo que calcula rotas baseado em feromônios, foram realizadas simulações em um ambiente de SMA chamado NetLogo. O NetLogo permite o desenvolvimento de Sistemas Multiagente, oportunizando modelar e programar ambientes a partir de sua linguagem própria. Utilizando o conceito de agentes (*turtles*) e atuando sobre um grid (*patches*) de agentes estacionários é possível gerar mundos extremamente complexos (TISUE; WILENSKY, 2004).

Foi desenvolvido o algoritmo para cálculo de rotas em um cenário urbano hipotético. O algoritmo desenvolvido foi uma adaptação do A*, que é um algoritmo de busca, que procura diminuir o custo de encontrar a melhor rota através de uma heurística pré-definida que leva em consideração o custo de percorrer a rota na posição corrente acrescido ao custo da rota que ainda resta para chegar à posição final (KANOH, 2007). Esta adaptação adiciona ao custo da heurística o conceito de feromônio, utilizando uma versão simplificada da técnica de Otimização por Colônia de Formigas (*Ant Colony Optimization*).

Como pode ser observado na Figura 12, foi considerado um ambiente com 18 vias verticais e horizontais de mãos simples e duas avenidas centrais. No modelo simulado, cada interseção tem a probabilidade de 66,6% de possuir semáforo, com exceção das avenidas que possuem semáforos sempre. Esta configuração reproduz o tráfego similar a um ambiente urbano, onde cada veículo decide seu trajeto aleatoriamente sempre que encontra uma intercessão. Neste ambiente, é possível parametrizar a

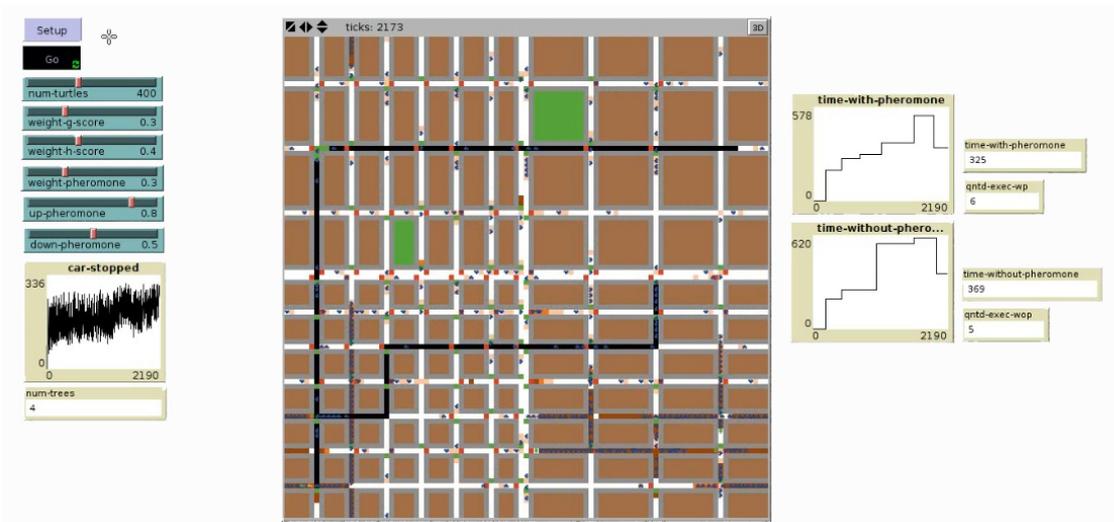


Figura 12: O cenário simulado no NetLogo

quantidade de veículos que trafegam pelo ambiente, bem como uma série de outros parâmetros.

Diferente dos carros de comportamento aleatório, existem 2 veículos inteligentes, que iniciam e terminam seu trajeto em um ponto fixo do ambiente, cada um destes veículos, segue uma rota previamente calculada, um utilizando o A* puro, e o outro utiliza o algoritmo adaptado com feromônios. No ambiente de simulação, é permitida a possibilidade de geração de obstáculos, como por exemplo, a queda de uma árvore, aumentando a probabilidade de congestionamentos, propiciando a avaliação em casos extremos.

Os carros que trafegam no ambiente, depositam uma quantidade de feromônios, que são representados no cenário pela coloração da via com o tom alaranjado. Com o passar do tempo a quantidade de feromônios se esvai até chegar a zero, descolorindo novamente a via. A taxa de depósito ou evaporação de feromônios também são parametrizáveis no modelo.

A simulação possui um tempo pré-definido de duração. Durante este período, os carros ditos inteligentes percorrem a rota calculada até chegarem ao seu destino pré-definido, neste momento, o agente é morto e outro é criado no ponto de partida.

4.3 A criação do mapa de feromônios

Para a definição do mapa de feromônios, em ambiente real, foi desenvolvido um aplicativo Android que coleta informações dos usuários e armazena estas informações em uma base de dados.

A cada 30 segundos (tempo parametrizável), o veículo envia para o servidor informações de geoposicionamento para a criação da base de dados histórica que po-

derá ser utilizada para se definir um padrão de comportamento das vias e para registrar as informações de feromônios, viabilizando a construção do mapa de feromônios. A integridade e o sigilo dos usuários são garantidos pela ferramenta.

Foram utilizadas as linguagens XML e Java para a implementação do aplicativo. A linguagem XML é utilizada para a construção da parte gráfica do aplicativo, onde acontece interação com o usuário, feita através dos componentes de interface gráfica, os *widgets*, tais como botões e caixas de texto. Na parte de controle, foi utilizada a linguagem Java-Android, um subconjunto Java padrão, que implementa uma API específica para desenvolvimento de aplicativos Android.

Na API Android são definidos os conceitos de *Atividade (Activity)* e de *Serviço (Service)*, que estão relacionados respectivamente à interface gráfica do aplicativo, ficando responsável pelas diferentes "telas"; e, às operações realizadas em segundo plano, entre elas, comunicação com o servidor.

O processo de implementação do aplicativo foi dividido em duas etapas : i) a recepção e envio de dados georeferenciados, utilizados para a criação da base histórica e construção do mapa de feromônios, obtidos através do GPS (*Global Positioning System*) do próprio dispositivo; e, ii) a elaboração de interface com o usuário, onde serão apresentadas informações como localização e percurso das rotas calculadas.

Na primeira etapa do trabalho foi criado um *Service*, responsável por conectar o aplicativo ao GPS, recebendo informações de localização periodicamente, a cada 30 segundos, parâmetro este que pode ser definido remotamente, a partir do *WebService*. A interface do protótipo do aplicativo pode ser observada nas Figuras 13(a–c).

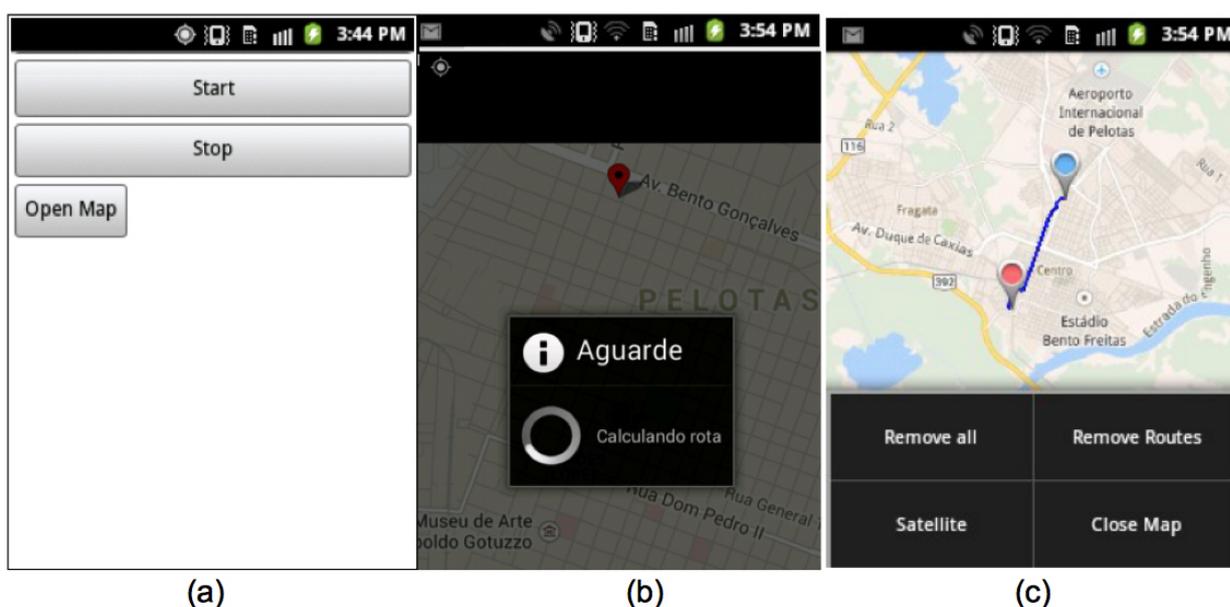


Figura 13: Interface do protótipo: (a) Pontos origem e destino; (b) Calculando a rota; e, (c) Visualização da rota

Após receber as informações, o *Service* as envia para o *WebService*, mantendo a base de dados históricos e de feromônios. O tempo para a atualização da localização do usuário foi definido de forma a otimizar o consumo de bateria, sem sacrificar a acurácia do aplicativo. Quando se utiliza valores menores de tempo e, portanto, envios mais frequentes, acarreta diversos acessos ao GPS, o que não é considerado uma boa estratégia, pelo aumento considerável do consumo de bateria do dispositivo. Em contrapartida, utilizar valores maiores, pode levar a uma possível perda de informação, pois se torna complexo deduzir o caminho percorrido pelo usuário.

Na segunda etapa de desenvolvimento foram criadas duas *Activities*. A primeira, responsável por controlar o envio de informações de localização e pela abertura do mapa; a segunda, responsável por exibir o mapa e todas as informações pertinentes, tais como localização do usuário, menus e rotas. O mapa escolhido para o aplicativo foi o *Google Maps*, pois é um mapa completo e bastante fácil de ser usado, além de possuir uma API própria para a programação Android, o que torna a implementação mais simples de ser realizada.

4.4 A busca pela rota com menor congestionamento

Para determinar uma rota entre um nodo (latitude e longitude) origem e um nodo (latitude e longitude) destino, a solução aqui apresentada utiliza uma variação do algoritmo heurístico de roteamento em grafo A^* hibridizado com a técnica de feromônio.

O mapa armazenado na base de dados é representando por um grafo direcionado com pesos representando as distâncias. O algoritmo de busca A^* descrito na sequência é utilizado para encontrar a melhor rota entre os dois pontos. Pode-se dizer que o grafo é uma representação lógica do mapa, contendo as ruas de uma dada cidade, cada trecho de uma rua é considerado uma aresta e os pontos são os nós, conforme representaçnao no mapa da Figura 14).

Para viabilizar a busca, foi necessário delimitar a área de busca reduzindo a um número mais facilmente manipulável de nós, que inclui o retângulo que compreende as latitudes e longitudes dos pontos de origem e de destino, acrescido de uma região de buffer, parametrizável pela ferramenta.

O primeiro passo do algoritmo é buscar o caminho mais curto. Isto é feito, iniciando a busca a partir do nodo de origem, conferindo os nodos adjacentes, e geralmente, procurando adjacientemente até encontrar o nodo destino. A busca inicia com a metodologia descrita a baixo.

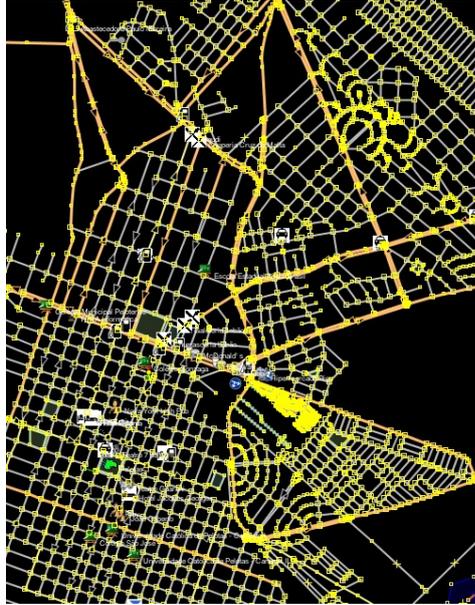


Figura 14: Representação do mapa.

Para calcular o custo da rota, o algoritmo utiliza a seguinte função de avaliação:

$$F = G + H,$$

onde G é o custo do movimento, que é determinado por:

$$G = (Ferom(u, v) * PesoFerom(u, v)) + (Dist(u, v) * PesoDist(u, v))$$

e H é o custo estimado do movimento do nodo corrente até o destino, calculado pela distância Euclidiana. Sejam u e v arestas do trajeto, a cujas coordenadas estão associados pesos w_1, w_2, \dots, w_p , relacionados aos feromônios. Então a distância euclidiana ponderada é definida como:

$$H = Dist(u, v) = \sqrt{\sum_{i \in 1} PesoFerom(u_i - v_i)}$$

O algoritmo A* mantém listas de dados auxiliares, que armazenam os nodos. Uma lista chamada de *Aberto*, que contém os nodos que precisam ser avaliados. E uma lista chamada *Fechados*, que armazena os nodos já avaliados. Os nodos inseridos nesta lista, devem ter estado antes na lista *Abertos*.

1. AESTRELA(origem ,destino)
2. inserirAbertos(origem)
3. while(listaAbertos != vazia)

4. corrente = escolherAbertos() /* nodo com menor F */
5. if (corrente==destino) return CAMINHO ENCONTRADO
6. listasuccessores = gerarSucessores(corrente)
7. for (listasuccessores)
8. $g(nsucessor) = g(natural) + (Fer * PesoFer) + (Dist * PesoDist)$
9. if (enAbertos(nsucessor) AND $f(nsucessor) > (nodoposicao)$)
10. if (enFechados(nsucessor) AND $f(nsucessor) > (nodoposicao)$)
11. excluiAbertos(nsucessor)
12. excluiFechados(nsucessor)
13. $f = g(natural, nsucessor) + h(nsucessor)$
14. inseriAbertos(nsucessor)
15. inseriFechados(nodoatual)
16. return

4.5 O Webservice

Como foi dito na Seção anterior, o aplicativo Android coleta dados de geoposicionamento, provenientes dos dispositivos móveis. As informações são coletadas em tempo real, alimentando uma base de informações e construindo um mapa de feromônios, com posição geográfica (latitude e longitude), data e hora.

Nas Subseções que seguem, são apresentadas as estratégias para criação dos mapas das cidades (estágio inicial, requerido para a informação dos feromônios) e do processamento (cálculo/recalculo) das rotas no *Webservice*.

4.5.1 Criação dos mapas e da base de dados

Para o mapeamento da área de monitoramento, decidiu-se pela utilização dos dados obtidos através de um projeto colaborativo designado de *OpenStreetMaps* (OSM), que tem como objetivo criar e fornecer dados geográficos de forma gratuita, uma vez que a maioria dos dados contidos nos mapas apresentam restrições legais ou técnicas relativas ao seu uso.

O OSM é um projeto aberto e reconhecido academicamente que fornece meios para a criação e edição de mapas geográficos. Este processo foi auxiliado pela ferramenta JOSM, um editor Java de *OpenStreetMaps* que disponibiliza a edição de vias e

nodos. A representação dos nodos é efetuada por intermédio de pontos e as arestas são identificadas por setas (conforme pode ser observado na Figura 15(a)).

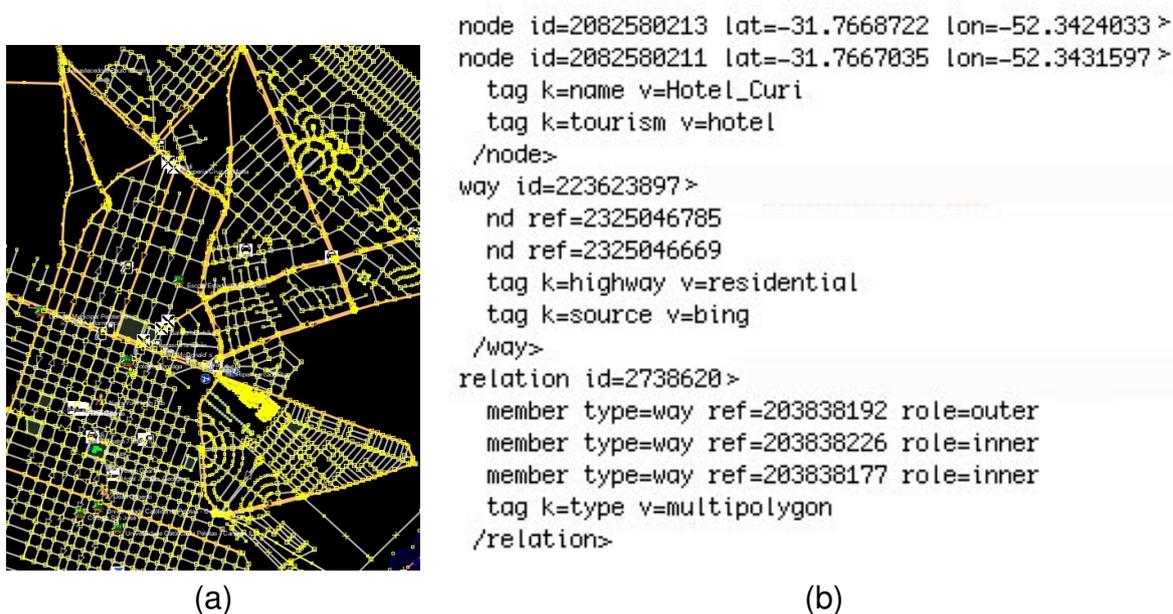


Figura 15: Formato OSM: (a) O mapa no JOSM; (b) O formato do arquivo XML

Os dados são disponibilizados no formato XML (vide Figura 15(b)) com *tags* que representam os nodos (denotados por sua latitude e longitude), as vias e os pontos de interesse. Assim, é possível extrair as informações para a criação da base de dados para o armazenamento e posterior cálculo da distância entre os nodos, bem como a criação da matriz de adjacências, que representa um grafo orientado.

A representação de uma malha viária urbana é realizada através do conceito de rede. Modelos de redes são construídos através da topologia arco-nó. Essa representação nada mais é que um grafo, onde são armazenadas informações sobre recursos de cada trecho ou nó da rede.

Na abordagem adotada, cada via possui um código de identificação e um nome, além de ser dividida em diversos trechos. Um trecho de via corresponde ao segmento de via compreendido entre duas conexões, deste com outras vias que a cruzam ou interceptam. O conjunto entre trechos de vias e conexões constitui a malha viária urbana (Figura 15(a)).

O processo de criação da base de dados foi feito considerando quais informações são necessárias para a criação de uma matriz de adjacências e que dados serão acessados e, por fim, a forma como a base de dados será alimentada, levando em consideração a base de dados históricos (Figura 16).

Neste sentido, foi necessário criar um banco de dados que reunisse informações como comprimento da via, nodos que compõe uma via (rota) e vias que se relacionam. A base de dados foi construída com base nos arquivos XML (Figura 15(b))

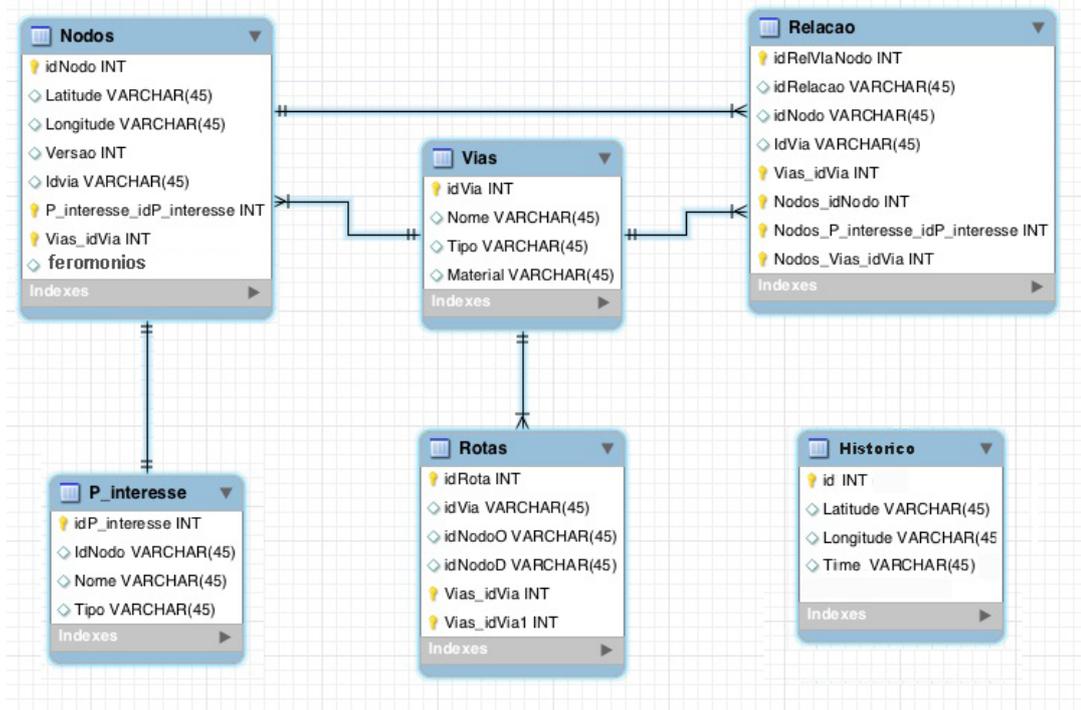


Figura 16: Base de dados

por um *script* que lê o arquivo OSM e insere as informações referentes às vias, nós e relacionamentos em uma base de dados. Foi utilizado ainda um SIG (Sistema de Informações Geográficas), o Quantun GIS para converter o mapa em informações geográficas, seguindo o procedimento demonstrado na Figura 17.

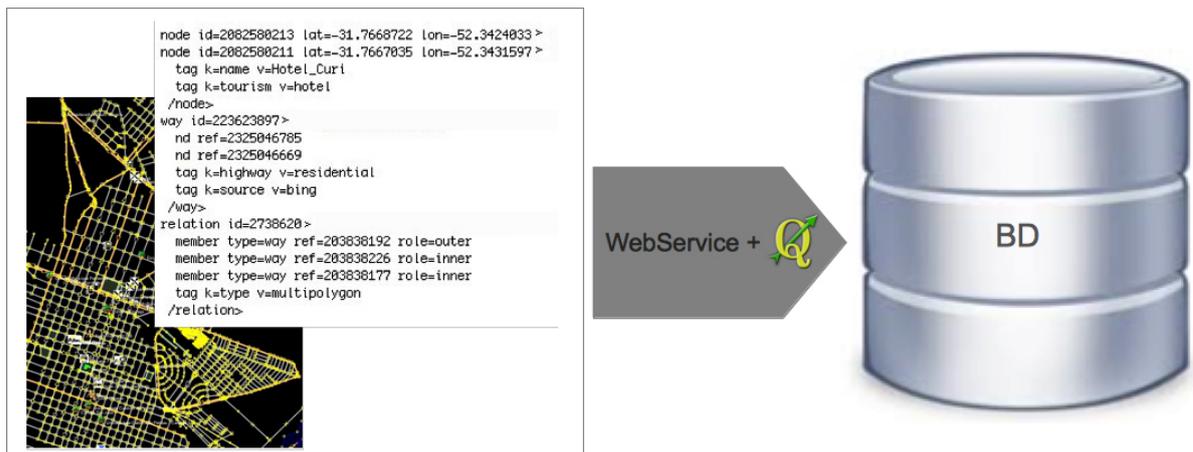


Figura 17: Visão geral da construção da base de dados

Decorrente deste procedimento, para o mapa da cidade de Pelotas foi produzido um banco de dados com o grafo da cidade, possuindo 12.353 nós e 14.600 de arestas tendo um tamanho em disco de aproximadamente 7,4 Mb.

O mapa de feromônios é construído a partir do recebimento pelo *WebService* de informações de geoposicionamento enviadas pelo aplicativo, assim, o valor de 0,8 é

incrementado no nodo (latitude e longitude) referenciado, isto ocorre até o valor de limite de feromônio 26.

Quando um determinado nodo permanece um período superior a 30 segundos sem receber informações de feromônios, inicia-se o processo de evaporação, até que valor de feromônios no nodo chegue a 0. O fator de decremento para o feromônio é de 0,3. Estes valores foram calibrados através de simulação, que confirmou serem os mais eficientes, como pode ser visto na sessão 5.2 do capítulo 5.

4.5.2 A Arquitetura do *Webservice*

Esta dissertação tem por objetivo reunir um conjunto de soluções que possam ser utilizadas para otimizar os sistemas de transportes. A Figura 18 representa a arquitetura deste conjunto de soluções.



Figura 18: Visão geral da arquitetura

O sistema consiste em obter a localização do usuário por GPS para a construção de uma base de informações históricas de tráfego, e para a manutenção do mapa de feromônios. Estas informações ficam disponíveis para serem consultadas pela própria aplicação.

Foi desenvolvido um *WebService* que disponibiliza os serviços de interface entre os dispositivos e o servidor. Para o desenvolvimento foi utilizado o *Framework Slin*, um *microframework* que oferece recursos para criar aplicações PHP. Ele possui o conceito de *Middleware*, envolvendo o ambiente da aplicação permitindo solicitações e respostas. Este *WebService* tem como principal funcionalidade, o provimento de comunicação entre dispositivo móvel, aplicações e dados como mostra a Figura 19.

4.5.3 A implementação do *WebService*

O *WebService* recebe as requisições do cliente sobre o protocolo HTTP (GET ou POST), consultam a base de dados e retornam as respostas ao cliente no padrão

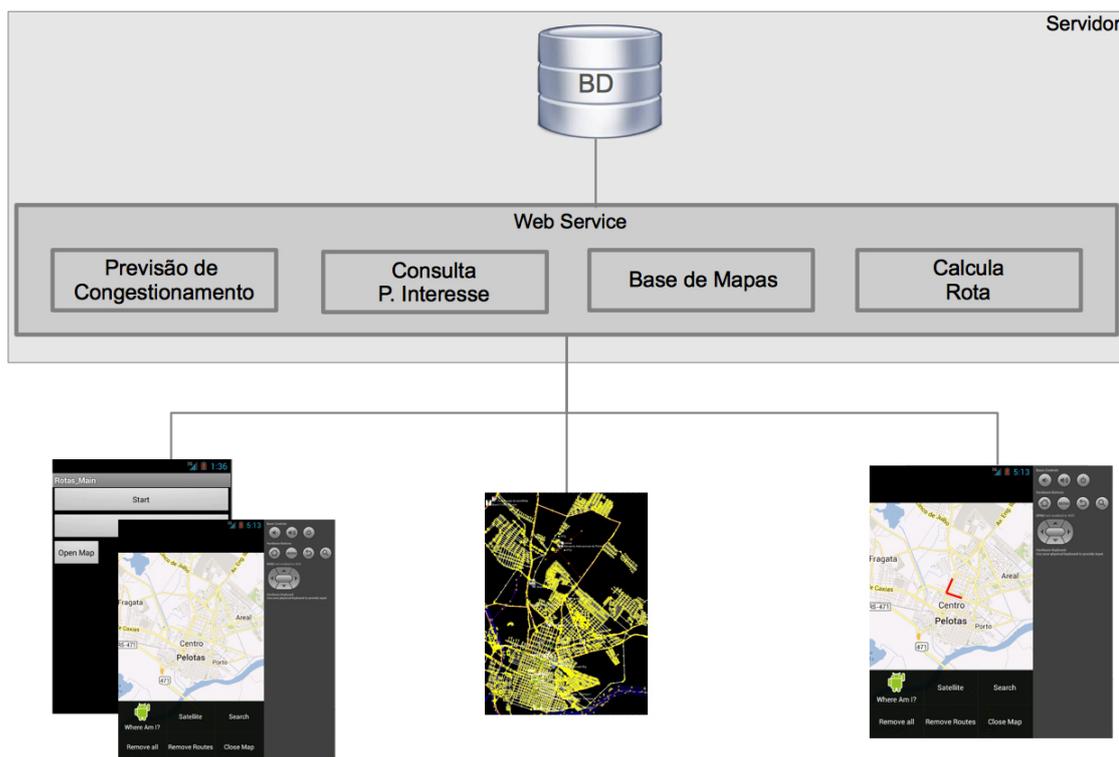


Figura 19: Visão geral do Modelo Proposto

JSON, esse papel é feito pela configuração PostgreSQL-WebService-framework REST.

O REST (*Representational State Transfer*) define um conjunto de princípios de arquitetura a partir do qual é possível criar serviços Web, que são os recursos do sistema. Estes recursos são acessados e transferidos através de métodos definidos no protocolo HTTP (GET, POST, PUT, DELETE, HEAD).

O *framework* fornece diversas funcionalidades prontas na linguagem PHP para retornar para a aplicação os dados do banco de dados. Por trabalhar sobre o protocolo HTTP, o *framework* necessita de um servidor HTTP para que seja feita a conexão. Neste trabalho foi usado o Apache, um dos mais populares servidores HTTP, *open source* para todos os sistemas operacionais.

O JSON (*JavaScript Object Notation*) foi utilizado por ser um formato leve de notação de dados a serem transmitidos, derivado da sintaxe de objetos em Javascript, é uma alternativa ao intensamente utilizado XML. JSON é fortemente recomendado para ser utilizado com Android, por consumir menos banda de conexão com a internet. Na Figura 20 pode-se ver um exemplo de objeto JSON.

O JSON é considerado um formato fácil de interpretar e gerar, pois é em formato texto completamente independente de linguagem. Estas propriedades fazem com que JSON seja um formato ideal de troca de dados. Ele está constituído em duas estruturas:

```

[{"idposicao":"8876108","imei":"356896031537211","datalocal":"2013-07-30
19:12:17","dataregistro":"2013-07-30
16:12:20","velocidade":"0.000000","latitude":"-15.869043","longitude":"-47.921783","the_geom"
:"0101000020E61000001F813FFCFCF547C0ADA23F34F3BC2FC0"},
{"idposicao":"8876110","imei":"357671030535691","datalocal":"2013-07-30
19:12:11","dataregistro":"2013-07-30
16:12:21","velocidade":"39.818001","latitude":"-15.803275","longitude":"-47.895939","the_geom"
:"0101000020E610000001B1021AEF247C088635DDC469B2FC0"},
{"idposicao":"8876100","imei":"863070015826539","datalocal":"2013-07-31
19:12:18","dataregistro":"2013-07-30
16:12:19","velocidade":"0.000000","latitude":"-15.793504","longitude":"-47.881661","the_geom"
:"0101000020E61000004F948444DAF047C0897D022846962FC0"},
{"idposicao":"8876070","imei":"357671030535956","datalocal":"2013-07-30
19:12:02","dataregistro":"2013-07-30
16:12:08","velocidade":"40.318039","latitude":"-15.803425","longitude":"-47.963692","the_geom"
:"0101000020E61000005BB56B425AFB47C0DE9387855A9B2FC0"},
{"idposicao":"8876053","imei":"357671030569849","datalocal":"2013-07-30
19:11:52","dataregistro":"2013-07-30
16:12:02","velocidade":"13.723320","latitude":"-15.785258","longitude":"-47.990597","the_geom"
:"0101000020E61000000342EBE1CBFE47C041D829560D922FC0"},
{"idposicao":"8876086","imei":"357671030535345","datalocal":"2013-07-30
19:12:02","dataregistro":"2013-07-30
16:12:12","velocidade":"0.000000","latitude":"-15.825027","longitude":"-47.923782","the_geom"
:"0101000020E61000001651137D3EF647C04DA25EF069A62FC0"}]

```

Figura 20: Exemplo de Objeto JSON

- uma coleção de pares nome/valor. Em várias linguagens isto é caracterizado como um objeto, registro, estrutura, dicionário, Tabela *hash* ou matrizes associativas; e,
- uma lista ordenada de valores. Na maioria das linguagens, isto é caracterizado como uma matriz, vetor, lista ou sequência.

O WebService representam parte da lógica de negócio, executando no servidor, e pode ser acessado através de protocolos padronizados da internet como HTTP. Essa comunicação baseada em padrões permite que qualquer aplicação que utilize estes protocolos acesse e utilize os serviços sem conhecer detalhes de implementação.

Foi utilizado o gerenciador de Banco de Dados PostgreSQL, por ser considerado um BD maduro, com uma arquitetura de confiabilidade, integridade de dados e conformidade a padrões. Neste trabalho, foi utilizada a extensão espacial do PostGIS, que adiciona suporte a objetos geográficos ao PostgreSQL, possibilitando o uso como um banco de dados espacial para sistemas de informação geográficos.

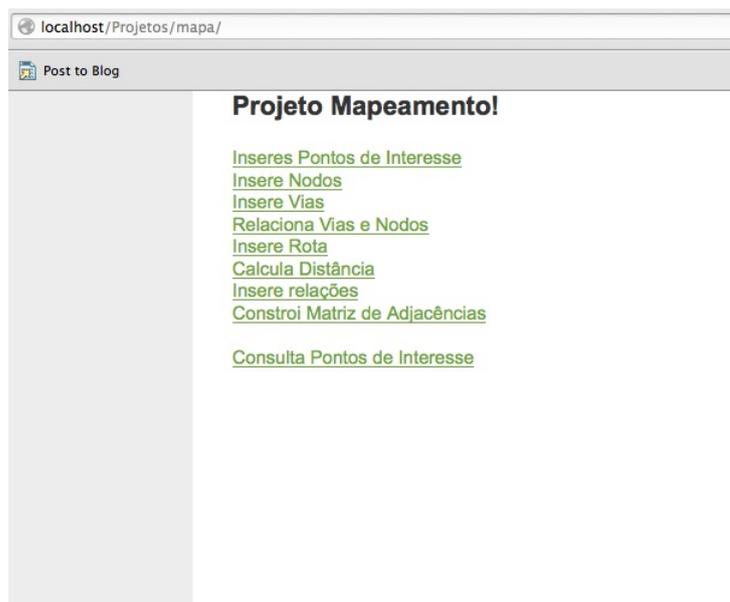


Figura 21: Interface Web

Para a criação da base de dados, o *WebService* fornece à aplicação meios para acessar o arquivo de mapas, em formato OSM, e o transforma em registros na Base de Dados. Isto é feito via interface Web (Figura 21). Através desta interface é possível inserir novos mapas no sistema, ou mesmo atualizar os mapas existentes.

Além disto, é através do *WebService* que são feitas todas as requisições do aplicativo referentes à rota e posicionamento georeferenciado. A sincronização do aplicativo Android com o PHP utiliza padrão Restful (JSON), pois é de fácil utilização para as duas pontas, ou seja, fácil para aplicar o código tanto no aplicativo como no servidor.

5 RESULTADOS

Os resultados apresentados são referentes as etapas de construção da metodologia proposta: o modelo de identificação baseado em feromônios; a avaliação do modelo de identificação com o auxílio de simulação; e a implementação do aplicativo móvel para o sistema operacional Android.

5.1 Modelo de Identificação

O modelo proposto neste trabalho é baseado na metodologia de comunicação por feromônios com o objetivo de evitar trechos com quantidades elevadas de feromônios, tomando estas regiões como locais de congestionamentos. O princípio vai de encontro com a maioria dos trabalhos que usam a comunicação por feromônios, que é a busca pelo menor caminho indicada pela região de maior concentração de feromônios.



Figura 22: Mapa de feromônios referente a um trecho do mapa de Pelotas

Inicialmente os aplicativos demarcam seu trajeto enviando informações (latitude e longitude) para o banco de dados através do webservice; um script desenvolvido em Java lê as informações da base de dados e constrói o mapa de feromônios (Figura 22) que é sobreposto ao mapa *GoogleMaps*, mostrando através de intensidade de cores as diferentes concentrações de feromônios. A tabela 6 apresenta a escala de cores em relação à concentração de feromônios.

A partir do mapa de feromônios, os dispositivos traçam rotas que evitem os trechos

Tabela 6: Características do ACORoute

Concentração de Feromônios	Cor
0 - 2	255 250 240
2,1 - 5	255 248 220
5,1 - 8	245 222 179
8,1 - 12	255 165 79
12,1 - 16	255 165 0
16,1 - 20	255 69 0
20,1 - 26	255 0 0

com maior concentração de feromônios, entendendo como sendo regiões de congestionamento.

A construção do mapa de feromônios é baseada no incremento de 0,8 no nodo (Latitude e Longitude) referenciado, por cada dispositivos a cada 30 segundos. Este procedimento ocorre até atingir o valor limite de feromônio 26. Após este valor, a informação não muda, uma vez que 26 é considerado como máximo congestionamento. O valor limite foi definido empiricamente através de resultados obtidos por simulações que indicaram que acima deste valor o decremento, que é de 0,3 a cada 30 segundos por dispositivo, leva à interpretação de congestionados trechos sem congestionamento.

5.2 Avaliação do Modelo de Identificação

Após o método de identificação de congestionamento ter sido definido, foi necessário avaliá-lo em termos de precisão da identificação e, conseqüentemente, a viabilidade do método. Para tal, foram feitas simulações no ambiente de simulação NetLogo para comparar o desempenho do uso da metodologia proposta com a técnica A*, técnica padrão para o cálculo de rotas. No ambiente de simulação desenvolvido no Netlogo (Figura 12) foram inseridos 2 (dois) carros ditos inteligentes, um deles utilizando a metodologia que utiliza feromônios no cálculo da rota e o outro usando o algoritmo A* puro.

Para calibração dos parâmetros foram feitos experimentos de forma planejada ou seja, uma série de testes, nos quais são feitas mudanças propositais nos parâmetros de entrada de um processo, de modo que poderemos observar e identificar mudanças correspondentes na resposta de saída. os parâmetros avaliados nestes testes foram: evaporação de feromônios, peso dos feromônios e peso da distância. Desta forma, a metodologia dos testes foi sistematizada com o objetivo de compor o melhor conjunto de parâmetros para o modelo e de entender qual a correlação entre eles. Nos expe-

rimentos executados o valor do incremento de feromônio ficou fixado e 0,8 conforme apresentou Kurihara (2013).

A sistematização e planejamento dos experimentos foi necessária para tornar possível a avaliação do comportamento dos parâmetros avaliados. Neste sentido, foi feita uma análise de variância, utilizando para tal, o planejamento fatorial completo.

Para executar um planejamento fatorial é necessário em primeiro lugar especificar os níveis em que cada fator será estudado, ou seja, os valores dos fatores que serão empregados nos experimentos. Para estudar o efeito do fator sobre a resposta é preciso fazê-lo variar e observar o resultado dessa variação. Isso obviamente implica na realização de experimentos em pelo menos dois níveis desse fator.

Foram analisados a cada experiemtno 2 fatores em 3 níveis, assim, teremos um planejamento onde todos os parâmetros são estudados em 3 níveis tendo assim, um planejamento fatorial 2^3 com uma matriz de planejamento com 9 experimentos. Para a execução desta análise fui utilizado o software Statística versão 10.0.

Na primeira etapa da análise foi avaliada a correlação entre os parâmetros peso do feromônio (PF) e o peso da distância (PD), fatores estes que são levados em consideração no cálculo da rota. Assim, foi construída a matriz de planejamento conforme Figura 23.

2 Fatores		-1	0	+1
Peso Feromônio		0,3	0,5	0,7
Peso da distância		0,3	0,5	0,7

Evaporação = 0,3

Experimento		PF	PD	Tempo C/F	Tempo S/F
1	-1, -1	0,3	0,3	445,32	479,18
2	-1, 0	0,3	0,5	372,59	421,95
3	-1, +1	0,3	0,7	405,22	459,82
4	0,-1	0,5	0,3	427,59	480,36
5	0,+1	0,5	0,7	419,54	460,09
6	+1, -1	0,7	0,3	404,65	440,35
7	+1, 0	0,7	0,5	334,45	375,1
8	+1, +1	0,7	0,7	423,95	482,27
9	0,0	0,5	0,5	398,35	455,4

Figura 23: Matriz de experimentos - peso do feromônio x peso da distância.

Para esta matriz de experimentos foi obtida a superfície de resposta apresentada na figura 24, onde pode ser observado que o parametro que exerce maior influência nos resultados é o peso da distancia, sendo que os os valores mais otimizados são obtidos quando este parametro esta em seu nivel médio (0,5). Além disso, é possível identificar que o ponto ótimo de rendimento é mostrado quando o peso do feromônio está em nível mais alto (0,7).

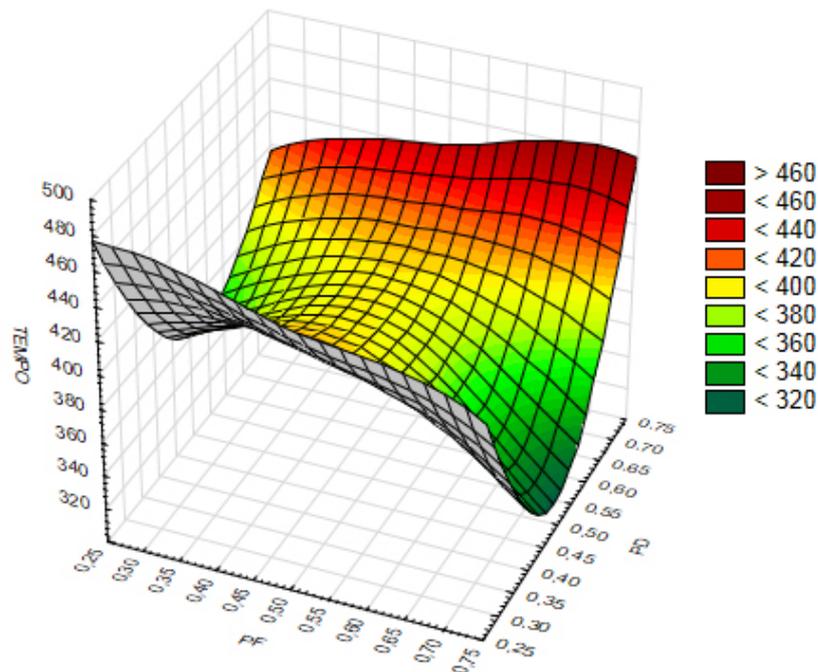


Figura 24: Superfície de resposta - peso do feromônio x peso da distância.

Considerando os dados apresentados na Tabela 23, foi obtida a análise de variância é da Tabela 25, onde podemos observar que os valores de p são menores que 0,05, isto significa que os fatores são considerados significativos, ou seja, ambos os fatores são relevantes nas médias apresentadas.

T-test for Dependent Samples (pfpd)										
Marked differences are significant at $p < ,05000$										
Variable	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p	Confidence -95,000%	Confidence +95,000%
PF	0,5000	0,17321								
TEMPO	403,5178	33,08862	9	-403,018	33,13444	-36,4893	8	0,000000	377,5484	428,4872
PD	0,5000	0,17321								
TEMPO	403,5178	33,08862	9	-403,018	33,11087	-36,5153	8	0,000000	377,5665	428,4690
TEMPO	403,5178	33,08862								
PF	0,5000	0,17321	9	403,018	33,13444	36,4893	8	0,000000	377,5484	428,4872
TEMPO	403,5178	33,08862								
PD	0,5000	0,17321	9	403,018	33,11087	36,5153	8	0,000000	377,5665	428,4690

Figura 25: Tabela da distribuição de t (Student t table).

Foi realizado um teste estatístico que mostra se existe alguma diferença significativa entre os diferentes resultados obtidos, o teste, que pode ser visto na figura 26 é uma análise de variância (ANOVA), este teste permitiria mostrar se existe ou não uma grande diferença entre os resultados obtidos.

A proporção de variância obtido foi de 88,6% indicando que apenas 11,4% dos resultados obtidos podem ser considerados algo que aconteceu ao acaso. Este

Effect	Model is: $v_3 = b_0 + b_1 * v_1 + b_2 * v_2 + b_{12} * v_1 * v_2 + b_{11} * v_1^2 + b_{22} * v_2^2$ (S _p) Dep. Var. : Var3				
	1 Sum of Squares	2 DF	3 Mean Squares	4 F-value	5 p-value
Regression	1473201	6,000000	245533,6	738,9321	0,000077
Residual	997	3,000000	332,3		
Total	1474198	9,000000			
Corrected Total	8759	8,000000			
Regression vs. Corrected Total	1473201	6,000000	245533,6	224,2609	0,000000

Figura 26: Análise de Variância (ANOVA)

fenômeno é explicado por este modelo matemático quadrático. Este modelo obteve o coeficiente de determinação denominado R ou de regressão linear mais próximo de 1 (0,94137668), isto fornece uma informação auxiliar ao resultado a análise de variância, indicando se o modelo proposto é adequado ou não para descrever o fenômeno. O valor próximo de 1 indica que o modelo proposto descreve adequadamente o fenômeno. Assim, o modelo pode ser explicado pela seguinte equação:

$$Tempo = b_0 + b_1 * v_1 + b_2 * v_2 + b_{12} * v_1 * v_2 + b_{11} * v_1^2 + b_{22} * v_2^2$$

$$R = 0,94137668$$

Na análise ANOVA, olhando para o valor de P podemos identificar que ele está abaixo do referencial 0,05 isto significa que é provável que a diferença entre os resultados seja uma diferença significativa e não pode ser considerada algo que aconteceu ao acaso. Quando o P assume o valor de 0.05 significa que existe apenas 5% de chance de seu resultado ser uma casualidade. Como o valor de P é menor que 0,05 isto significa maior confiabilidade em nossos resultados, confirmando o resultado apresentado no test T (figura 25).

$$\text{Tempo} = 380,1056 - 10,0133*x - 4,8083*y - 17,4633*x*x + 14,85*x*y + 52,5817*y*y$$

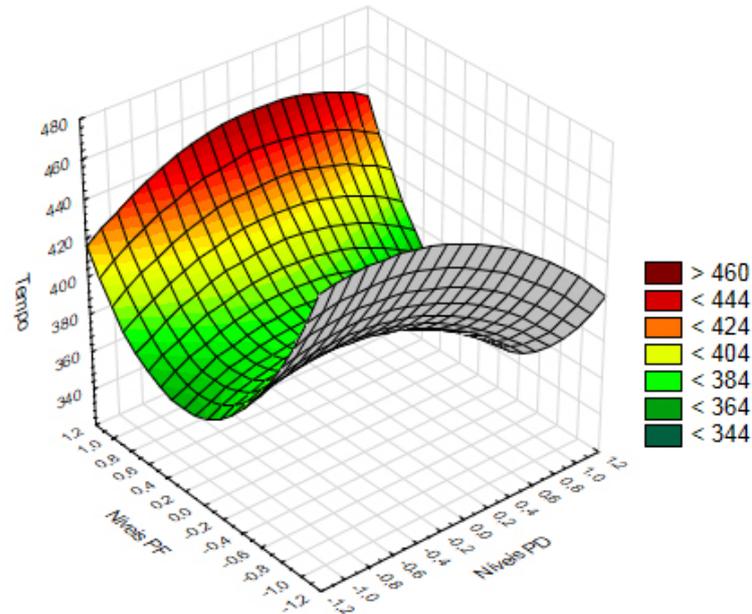


Figura 27: Superfície de resposta para o modelo matemático

Levando em consideração que a análise da correlação entre peso do feromônio e peso da distância é relevante, decidiu-se analisar ainda o parâmetro de evaporação, que não afeta diretamente no cálculo da rota, pois não é levado em consideração na fórmula, mas interfere na concentração de feromônios, assim, é importante verificar se tem relação direta nos resultados. Neste sentido, foram considerados os parâmetros peso do feromônio e evaporação para uma análise fatorial, tendo como matriz de planejamento a tabela apresentada na Figura 28.

A superfície de resposta obtida para a matriz de experimentos 30 é apresentada na Figura 29. Nela, pode-se observar que o máximo rendimento ocorre para valores de PF em nível mais alto e para valores de E em níveis médio a baixo, sendo que o peso do feromônio que exerce maior influência nos resultados.

2 Fatores	-1	0	+1
Peso Feromônio	0,3	0,5	0,7
Evaporação	0,1	0,3	0,5

Peso Distância = 0,5

Experimento			PF	E	Tempo C/F	Tempo S/F
1	-1	-1	0,3	0,1	473,2	445,25
2	-1	0	0,3	0,3	421,95	372,59
3	-1	+1	0,3	0,5	433,72	392,72
4	0	-1	0,5	0,1	425,52	418,09
5	0	+1	0,5	0,5	394,72	408,86
6	+1	-1	0,7	0,1	399,91	366,00
7	+1	0	0,7	0,3	375,1	334,45
8	+1	+1	0,7	0,5	404,5	385,86
9	0	0	0,5	0,3	455,4	398,35

Figura 28: Matriz de experimentos - peso feromônio x evaporação.

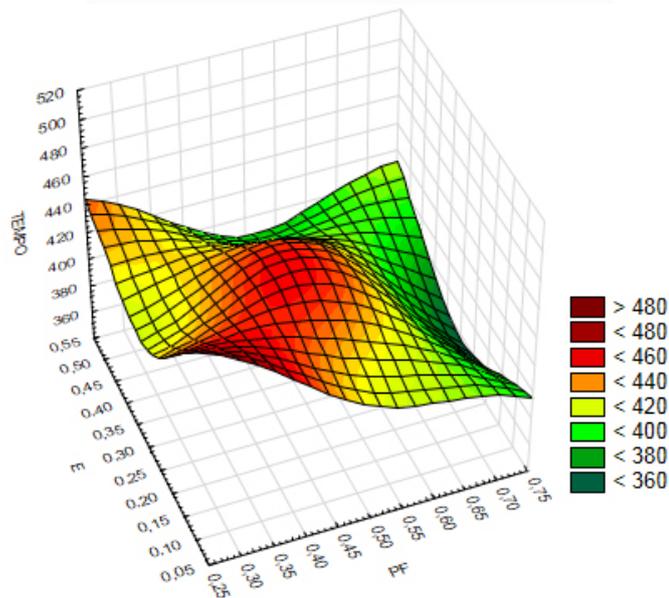


Figura 29: Superfície de resposta - peso feromônio x evaporação.

Foi analisada ainda a correlação entre o peso da distância e evaporação, e as análises são apresentadas na sequência.

Referente a matriz de experimentos apresentada acima, foi obtido o gráfico de superfície de resposta apresentado na Figura 31

2 Fatores	-1	0	+1
Evaporação	0,1	0,3	0,5
Peso da distância	0,3	0,5	0,7

Peso do Feromônio = 0,7

Experimento		PD	E	Tempo C/F	Tempo S/F
1	-1, -1	0,3	0,1	417,55	430,3
2	-1, 0	0,3	0,3	404,65	440,35
3	-1, +1	0,3	0,5	420,2	417,9
4	0, -1	0,5	0,1	366,00	399,91
5	0, +1	0,5	0,5	385,86	404,05
6	+1, -1	0,7	0,1	391,59	399,27
7	+1, 0	0,7	0,3	482,27	423,95
8	+1, +1	0,7	0,5	478,85	474,05
9	0,0	0,5	0,3	334,45	375,1

Figura 30: Matriz de experimentos - peso distância x evaporação.

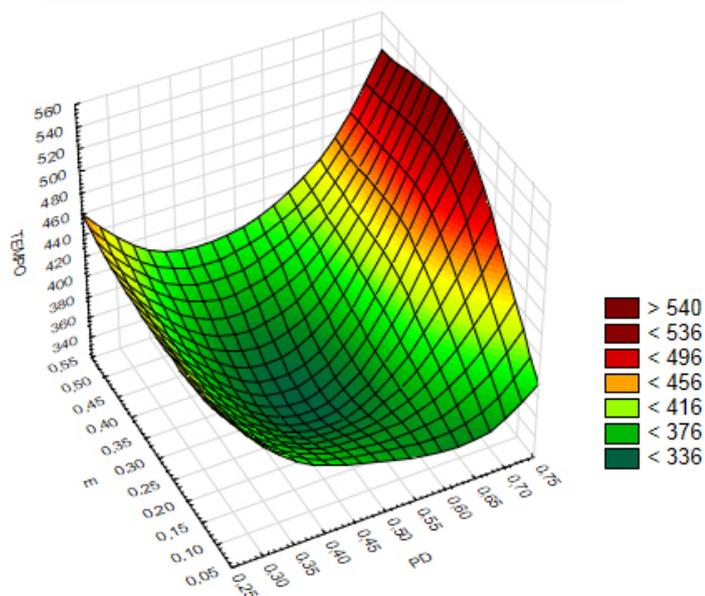


Figura 31: Superfície de resposta - peso distância x evaporação.

A Tabela 7 apresenta a compilação dos resultados apresentados nas análises, com o grupo de parâmetros que obteve melhores resultados em evidência.

Observando os resultados apresentados na Tabela 7, que apresenta as médias de tempo com desvio padrão para cada análise, e possível identificar que os melhores resultados foram obtidos com a parametrização Peso do Feromônio 0,7, Peso da Distância 0,5 e Evaporação 0,3, conforme pode ser visto na linha grifada da tabela 7.

É possível ainda observar que os maiores tempos médios foram obtidos quando os decrementos usados para a Evaporação se mantiveram em nível médio. Este comportamento pode ser atribuído ao fato do algoritmo considerar sem congestionamento

Tabela 7: Análise da parametrização com 600 carros no ambiente, dos quais 100% com Feromônios

Parametrização para 6000 execuções				Tempo médio (Ticks)	
Incremento	Peso Ferom.	Peso Dist.	Evaporação	C/ Feromônios	S/ Feromônios
0,8	0,5	0,5	0,3	455,4±14,41	398,35±4,64
0,8	0,5	0,5	0,1	425,52±8,31	418,09±4,14
0,8	0,5	0,5	0,5	394,72±4,65	408,86±6,23
0,8	0,5	0,3	0,3	427,59±3,54	480,36±5,45
0,8	0,5	0,7	0,3	419,54±4,67	460,09±4,41
0,8	0,5	0,5	0,3	398,35±9,24	455,4±7,86
0,8	0,7	0,5	0,1	366,00±2,44	399,91±4,34
0,8	0,7	0,5	0,5	385,86±3,18	404,05±6,23
0,8	0,7	0,7	0,1	391,59±7,45	399,27±5,87
0,8	0,7	0,5	0,3	334,45±2,14	375,10±2,87
0,8	0,7	0,3	0,3	404,65±4,67	440,35±6,14
0,8	0,7	0,3	0,1	417,55±2,98	430,3±4,32
0,8	0,3	0,3	0,3	445,32±3,23	479,18±5,90
0,8	0,3	0,5	0,3	372,59±2,05	421,95±2,97
0,8	0,3	0,7	0,3	405,22±1,65	459,82±4,03
0,8	0,3	0,5	0,1	473,2±4,26	445,25±8,90
0,8	0,3	0,5	0,3	421,95±3,89	372,59±7,98
0,8	0,3	0,5	0,5	433,72±6,75	392,72±5,73

um trecho que ainda está congestionado, e calcular uma rota que leve o veículo a ficar congestionado ao invés de calcular uma rota que evite determinado trecho. Desta forma, esta parametrização foi usada nas demais simulações.

Posteriormente aos experimentos de calibração dos parâmetros foram realizados experimentos para avaliar como diferentes quantidades de carros de comportamento aleatório podem interferir no modelo, avaliando assim, diferentes situações de congestionamento (conforme apresentado na Tabela 8). A parametrização foi feita conforme resultado identificado em negrito na tabela 7.

Tabela 8: Eficiência do modelo de feromônios

	Nº de carros	Com Feromônios	Sem Feromônios
Tempo Médio (<i>ticks</i>)	2	231,18	229,36
	200	362,37	426,91
	400	428,48	542,52
	600	471,14	572,81

Após executar 6000 simulações do modelo, para cada configuração avaliada, foi possível observar que o tempo médio (em *ticks* de simulação) de conclusão da rota, quando considerado o peso do feromônio no custo da heurística A*, é menor se comparado ao percurso sem considerar o feromônio, para todas as situações de congestionamento.

Pode-se observar que o número de carros usado nas simulações influencia nos tempos médios obtidos para o cálculo da melhor rota. A medida que o número de carros aumenta, o tempo médio para o cálculo aumenta, assim, os maiores tempos foram obtidos quando usado 600 carros. Os tempos médios apresentados na (Tabela 8) mostram que em todas as simulações os tempos do percurso usando feromônios foram menores usando feromônios em relação às simulações não usando feromônios. Nas simulações pode ser observado que em situações onde a taxa de congestionamento é elevada, buscar rotas alternativas pode envolver outras situações de congestionamento, podendo levar a uma condição pior que esperar pela normalização do fluxo. Desta forma, foi verificada que a metodologia proposta é eficiente.

Sequencialmente, com o objetivo de identificar o percentual mínimo de veículos depositando feromônios nas vias para gerar os melhores resultados, novas simulações foram feitas. Os percentuais usados foram 10, 20, 30, 60 e 100% de veículos depositando feromônios. Os resultados podem ser observados na Tabela 9, onde verifica-se que quanto maior o percentual de carros depositando feromônios, melhor o desempenho do algoritmo. Estes resultados confirmam os resultados obtidos na Tabela 7.

Tendo a parametrização definida, experimentos com a inclusão de recálculo da rota foram feitos. O recálculo ocorre em situações onde o veículo permaneça sem

Tabela 9: Análise do percentual mínimo de veículos com feromônios

600 carros no ambiente % de carros c/ ferom.	Tempo médio (<i>Ticks</i>)	
	Com Feromônios	Sem Feromônios
10%	530,97 ±16,32	431,67±4,54
20%	443,11 ±2,73	431,35±3,87
30%	431,62 ±2,50	439,91±2,95
60%	427,46 ±2,42	451,33±3,22
100%	382,20 ±14,41	405,63±8,15

movimento por um determinado período. Estes testes tiveram como objetivo identificar a eficiência da inclusão do recalculo e ainda calibrar o parâmetro chamado de Limite de Recalculo, que determina qual o limite de tempo para o recalculo da rota. Os resultados estão explicitados na Tabela 10.

Tabela 10: Análise dos parâmetros de decisão para o recalculo da rota

600 carros no ambiente Limite Recálculo	Tempo médio (<i>Ticks</i>)	
	Com Feromônios	Sem Feromônios
1,5 Ticks	369,87 ±3,52	393,15±2,63
1,0 Ticks	362,15 ±4,58	399,54 ±2,41
0,5 Ticks	379,28 ±5,96	381,90±2,06

Observando-se a tabela 10 pode-se verificar que o limite de tempo 1,0 Ticks para recalculer a rota apresentou o melhor resultado.

5.3 Aplicativo

Um dos objetivos deste trabalho foi desenvolver um Aplicativo Android utilizando a metodologia desenvolvida. Para o desenvolvimento desta aplicação, foi utilizada a IDE (*Integrated Development Environment*) Eclipse, combinada com o Android SDK (*Software Development Kit*), que fornece uma API (*Application Programming Interface*) necessária para construir e testar aplicações para Android. A Figura 32 apresenta o diagrama de classes do aplicativo.

As classes apresentadas podem ser resumidamente descritas da seguinte forma:

Classe MainActivity: Esta classe é responsável pela tela de menu do aplicativo e por ativar os serviços de localização através do *google play services*;

Classe GetCoordenates: Esta classe executa em uma thread. Ela é responsável por iniciar, manter e desligar a conexão com o GPS do dispositivo. Além disto, é

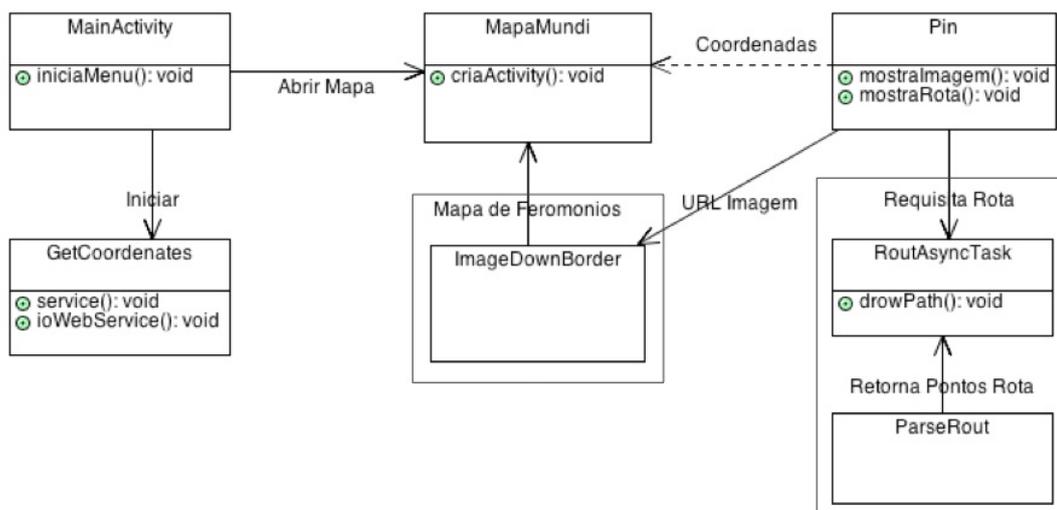


Figura 32: Diagrama de classes do Aplicativo

responsável por ouvir e enviar ao `WebService` as atualizações de localização do usuário, através do GPS;

Classe `MapaMundi`: Esta classe é responsável por mostrar o mapa *GoogleMaps* no aplicativo, por receber informações de latitude e longitude do usuário e colocar um marcador especial na localização recebida. O marcador deve ser reposicionado conforme a movimentação do usuário;

Classe `ImageDownBorder`: Esta classe executa em uma `Thread`. Ela é responsável por receber a URL da imagem do mapa de feromônios e salvar em formato BMP para ser mostrada pelo **`MapaMundi`**;

Classe `RoutAsyncTask`: Esta classe executa em uma `Thread` paralelamente à **`ImageDownBorder`**. Ela é responsável pelo recebimento dos pontos de origem e destino da rota (latitude e longitude). Com estas informações, ela requisita a rota para a classe **`ParseRoute`**, que retorna uma lista de pontos (Rota). A rota entre os pontos de origem e destino é então desenhada;

`ParseRout`: Esta classe recebe como parâmetro da classe **`RouteAsyncTask`** a URL de requisição da rota. Através desta URL ele realiza uma conexão HTTP com o `WebService`, que retorna uma `String` no formato JSON contendo todos os pontos da rota requisitada (incluindo origem e destino). Assim, a lista de pontos é retornada para a classe **`RouteAsyncTask`**, que desenha a rota;

Testes preliminares foram feitos com o aplicativo em funcionamento, onde foi estabelecida a conexão com o `WebService`, que calculou a rota entre a origem e destino solicitada. A Figura 13 mostra as telas do aplicativo em execução. Os testes mostra-

ram que todas as etapas de execução funcionam como previsto. Entretanto, o tempo requerido deve ser otimizado para ser viável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são resumidas as principais conclusões do que foram obtidas ao longo do esforço de concepção e avaliação do ACORout, enquanto método para identificação de congestionamento. São apresentados também as previsões de trabalhos futuros.

6.1 Principais Conclusões

Este trabalho tem como principal contribuição o desenvolvimento de uma metodologia para identificação de congestionamento que utiliza comunicação baseada em feromônios. Os resultados obtidos nos testes de validação da metodologia através de simulações e a implementação do dispositivo móvel (ACORoute) mostram sua viabilidade com o ganho de tempo com seu uso.

Os resultados obtidos nas simulações confirmam a aplicabilidade e a eficiência do método proposto na identificação de congestionamentos, obtendo melhores resultados de tempo quando comparados a não utilização da técnica.

De um modo geral, pode-se concluir que:

- os tempos médios utilizando Feromônios são melhores em todos os casos avaliados após definição dos parâmetros;
- com o aumento do número de carros, as médias aumentam, mas ainda assim, os resultados utilizando feromônios foram melhores;
- com a introdução do recalculo, a média foi melhor;
- o Aplicativo esta em funcionamento, e calcula rota evitando locais de congestionamento;
- o aplicativo ainda precisa ser otimizado em alguns aspectos.

6.2 Trabalhos Futuros

Dentre os aspectos levantados para continuidade do trabalho destaca-se a necessidade de algumas melhorias no aplicativo:

- Minimizar o consumo de bateria;
- Realização de testes em ambiente real;
- Determinar o padrão de comportamento das vias com base nos dados históricos, para situações onde não se tem informações de feromônios;
- Implementar a utilização de informações históricas no cálculo da rota;
- Otimização do cálculo da rota, melhorando o tempo de resposta;
- Implementar o ACORoute para outras plataformas;
- Disponibilizar o download do aplicativo para a comunidade acadêmica.

REFERÊNCIAS

ADLER, J. L.; BLUE, V. J. Toward the design of intelligent traveler information systems. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [S.l.], v.6, n.3, p.157 – 172, 1998.

ANDO, Y.; FUKAZAWA, Y.; MASUTANI, O.; IWASAKI, H.; HONIDEN, S. Performance of Pheromone Model for Predicting Traffic Congestion. In: FIFTH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS, 2006, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2006. p.73–80. (AAMAS '06).

BARBOSA, H. J. (Ed.). **ANT COLONY OPTIMIZATION - TECHNIQUES AND APPLICATIONS**. Croatia: InTech Chapters published, 2013.

BAZZAN, A. L.; KLÜGL, F. Introduction to Intelligent Systems in Traffic and Transportation. **Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning**, [S.l.], v.7, n.3, p.1–137, 2013.

BH, O. da Mobilidade Urbana de. **Balço da Mobilidade Urbana de Belo Horizonte**. Access date: 03 jan. 2014.

BIANCHIN, A.; INDOVINA, F.; RINALDI, E. Cellular Automata for the study of the Diffusion of Pollutants within the basins of the Lagoon: the case of the Venetian Lagoon. In: CUPUM '99 COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT. ON THE EDGE OF THE MILLENIUM. PROCEEDINGS OF THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE, 1999. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1999.

BLUM, C.; MERKLE, D. **Swarm Intelligence**: Introduction and Applications. 1.ed. [S.l.]: Springer Publishing Company, Incorporated, 2008.

CABALLERO-GIL, P.; CABALLERO-GIL, C.; MOLINA-GIL, J. How to build vehicular ad-hoc networks on smartphones. **Journal of Systems Architecture**, [S.l.], v.59, n.10, Part B, p.996 – 1004, 2013. Advanced Smart Vehicular Communication System and Applications.

CARMEN, S.; DAWE, M.; FISCHER, G.; GORMAN, A.; KINTSCH, A.; SULLIVAN JR., J. F. Socio-technical environments supporting people with cognitive disabilities using public transportation. **ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.**, New York, NY, USA, v.12, n.2, p.233–262, June 2005.

CHABINI, I.; LAN, S. Adaptations of the A* algorithm for the computation of fastest paths in deterministic discrete-time dynamic networks. **Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.3, n.1, p.60–74, 2002.

CHEN, S. H.; JAKEMAN, A. J.; NORTON, J. P. Artificial Intelligence techniques: An introduction to their use for modelling environmental systems. **Mathematics and Computers in Simulation**, [S.l.], v.78, n.2-3, p.379–400, 2008. Special Issue: Selected Papers of the MSSANZ/IMACS 16th Biennial Conference on Modelling and Simulation, Melbourne, Australia, 12-15 December 2005.

CLARRIDGE, A.; SALOMAA, K. A Cellular Automaton Model for Car Traffic with a Slow-to-Stop Rule. In: MANETH, S. (Ed.). **Implementation and Application of Automata**. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p.44–53. (Lecture Notes in Computer Science, v.5642).

CNM. **Tecnologias a Favor da Mobilidade Urbana**. Brasília: Confederação Nacional de Municípios CNM, 2013.

DAS, S.; SAHA, M.; SIKDAR, B. K. A cellular automata based model for traffic in congested city. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, 2009., 2009, Piscataway, NJ, USA. **Proceedings...** IEEE Press, 2009. p.2397–2402. (SMC'09).

FERRIS, B.; WATKINS, K.; BORNING, A. Location-Aware Tools for Improving Public Transit Usability. **Pervasive Computing, IEEE**, [S.l.], v.9, n.1, p.13 –19, jan.-march 2010.

FIGUEIREDO, L. M. B. **Sistemas Inteligentes de Transporte**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

FONSECA, F.; RAMOS, R. A aplicação de sistemas multi-agentes no planeamento do território. In: CONGRESSO DA APDR, 16., 2010. **Anais...** APDR Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional, 2010.

GOLDBERG, D. E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**. 1st.ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989.

GURMU, Z. K. **A Dynamic Prediction of Travel Time for Transit Vehicles in Brazil Using GPS Data**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Department of Civil Engineering and Management University of Twente.

HARRINGTON, A.; CAHILL, V. Route profiling: putting context to work. In: ACM SYMPOSIUM ON APPLIED COMPUTING, 2004., 2004, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2004. p.1567–1573. (SAC '04).

HOAR, R.; PENNER, J.; JACOB, C. Evolutionary swarm traffic: if ant roads had traffic lights. In: EVOLUTIONARY COMPUTATION, 2002. CEC '02. PROCEEDINGS OF THE 2002 CONGRESS ON, 2002. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2002. v.2, p.1910–1915.

HUANG, R. A Schedule-based Pathfinding Algorithm for Transit Networks Using Pattern First Search. **Geoinformatica**, [S.l.], v.11, n.2, p.269–285, 2007.

KANO, H. Dynamic route planning for car navigation systems using virus genetic algorithms. **Int. J. Know.-Based Intell. Eng. Syst.**, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v.11, n.1, p.65–78, Jan. 2007.

KARI, J. Theory of cellular automata: A survey. **Theoretical Computer Science**, [S.l.], v.334, n.1-3, p.3 – 33, 2005.

(KLUEGL, F.; BAZZAN, A. L. C. Route Decision Behaviour in a Commuting Scenario: Simple Heuristics Adaptation and Effect of Traffic Forecast. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, [S.l.], v.7, n.1, 2004.

KRÜGER, A.; BUTZ, A.; MÜLLER, C.; STAHL, C.; WASINGER, R.; STEINBERG, K.-E.; DIRSCHL, A. The connected user interface: realizing a personal situated navigation service. In: INTELLIGENT USER INTERFACES, 9., 2004, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2004. p.161–168. (IUI '04).

KUMAR, K.; PARIDA, M.; KATIYAR, V. Short Term Traffic Flow Prediction for a Non Urban Highway Using Artificial Neural Network. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [S.l.], v.104, n.0, p.755 – 764, 2013. 2nd Conference of Transportation Research Group of India (2nd CTRG).

KURIHARA, S. Traffic-Congestion Forecasting Algorithm Based on Pheromone Communication Model. **Ant Colony Optimization - Techniques and Applications**, [S.l.], v.104, p.167 – 175, 2013.

LARROCHE, Y.; MOULIN, R.; GAUYACQ, D. SEPIA: A real-time expert system that automates train route management. **Control Engineering Practice**, [S.l.], v.4, n.1, p.27 – 34, 1996.

LIMA, V. G. de; MORAES RÊGO MAGALHÃES, F. de; OLIVEIRA TITO, A. de; SANTOS, R. A. dos; RISTAR, A. R. R.; SANTOS, L. M. dos; VIEIRA, V.; SALGADO, A. C. UbibusRoute: Usando Informações Contextuais de Redes Sociais para Sugestão de Rotas de ônibus. In: **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia - IX Workshop de Trabalhos de Iniciação Científica (WTIC)**. São Paulo: [s.n.], 2012.

LIU, Y. **Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata**. [S.I.]: CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, 2009.

LORENZI, F.; BAZZAN, A. L.; ABEL, M.; RICCI, F. Improving recommendations through an assumption-based multiagent approach: An application in the tourism domain. **Expert Systems with Applications**, [S.I.], v.38, n.12, p.14703 – 14714, 2011.

LUCIC, P.; TEODOROVIC, D. Computing with Bees: Attacking Complex Transportation Engineering Problems. **International Journal on Artificial Intelligence Tools**, [S.I.], v.12, n.03, p.375–394, 2003.

LUDWIG, B.; ZENKER, B.; SCHRADER, J. Recommendation of Personalized Routes with Public Transport Connections. In: TAVANGARIAN, D.; KIRSTE, T.; TIMMERMANN, D.; LUCHE, U.; VERSICK, D. (Ed.). **Intelligent Interactive Assistance and Mobile Multimedia Computing 2009**. [S.I.]: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p.97–107. (Communications in Computer and Information Science Series, v.53).

MASUTANI, O.; ANDO, Y.; SASAKI, H.; IWASAKI, H.; FUKAZAWA, Y.; HONIDEN, S. Pheromone Model: Application to Traffic Congestion Prediction. In: ENGINEERING SELF-ORGANISING SYSTEMS, 2006. **Anais...** Springer Berlin Heidelberg, 2006. p.182–196. (Lecture Notes in Computer Science, v.3910).

METRÓPOLES, O. D. **EVOLUÇÃO DA FROTA DE AUTOMÓVEIS E MOTOS NO BRASIL**. Access date: 03 jan. 2014, http://www.observatoriodasmetrololes.net/download/auto_motos2013.pdf.

NAGEL, K.; SCHRECKENBERG, M. A cellular automaton model for freeway traffic. **Journal de Physique I**, [S.I.], v.2, n.12, p.2221–2229, Dec. 1992.

NARZT, W.; WILFLINGSSEDER, U.; POMBERGER, G.; KOLB, D.; HORTNER, H. Self-organising congestion evasion strategies using ant-based pheromones. **Intelligent Transport Systems**, [S.I.], v.4, 2010.

OCHIAI, J.; KANO, H. Hybrid Ant Colony Optimization for Real-World Delivery Problems Based on Real Time and Predicted Traffic in Wide Area Road Network. **Fourth International conference on Computer Science and Information Technology - CC-SIT 2014**, Sydney, Australia, v.4, n.2, February 2014.

OPREA, M.; DRAGOMIR, E.; CARBUREANU, M. On the use of collaborative intelligence in an agent-based environmental monitoring and analysis system. In: SYSTEM THEORY, CONTROL, AND COMPUTING (ICSTCC), 2011 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2011. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2011. p.1 –6.

PLOEG, F. van der; POELHEKKE, S. Globalization and the Rise of Mega-Cities in the Developing World. **CESIFO Working Paper**, Munich - Germany, n.2208, 2008.

ROGERS, S.; LANGLEY, P. Personalized Driving Route Recommendations. In: IN PROCEEDINGS OF THE AMERICAN ASSOCIATION OF ARTI INTELLIGENCE WORKSHOP ON RECOMMENDER SYSTEMS, 1998. **Anais...** Madison:WI, 1998. p.96–100.

ROLNIK, R.; KLINTOWITZ, D. (I)Mobilidade na cidade de São Paulo. **Estudos Avançados**, [S.l.], v.25, p.89 – 108, 04 2011.

SADEK, A.; SMITH, B.; DEMETSKY, M.; COUNCIL, V. T. R. **Dynamic Traffic Assignment: A Genetic Algorithms Approach**. [S.l.]: Transportation Research Board, 1997.

SANTOS, D. S. dos; BAZZAN, A. L. Distributed clustering for group formation and task allocation in multiagent systems: A swarm intelligence approach. **Applied Soft Computing**, [S.l.], v.12, n.8, p.2123 – 2131, 2012.

STEINMACHER, I.; VIEIRA, V.; SALGADO, A. C.; TEDESCO, P.; TIMES, V.; FERRAZ, C.; HUZITA, E.; CHAVES, A. P. The UbiBus Project: Using Context and Ubiquitous Computing to build Advanced Public Transportation Systems to Support Bus Passengers. **VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação**, [S.l.], 2012.

SUKTHANKAR, R.; HANCOCK, J.; THORPE, C. Tactical-level simulation for intelligent transportation systems. **Mathematical and Computer Modelling**, [S.l.], v.27, n.9-11, p.229 – 242, 1998.

TEODOROVIC, D. Swarm intelligence systems for transportation engineering: Principles and applications. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [S.l.], v.16, n.6, p.651 – 667, 2008.

TERVEEN, L.; HILL, W. Beyond Recommender Systems: Helping People Help Each Other. In: HCI IN THE NEW MILLENNIUM, 2001. **Anais...** Addison-Wesley, 2001. p.487–509.

TISUE, S. NetLogo: Design and implementation of a multi-agent modeling environment. In: IN PROCEEDINGS OF AGENT 2004, 2004. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2004.

TISUE, S.; WILENSKY, U. NetLogo: A simple environment for modeling complexity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPLEX SYSTEMS, 2004. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2004. p.16–21.

TITO, A.; BORGIANI, F.; SANTOS, R. dos; TEDESCO, P.; SALGADO, A. Contextual information in user information systems in public transportation: A systematic review. In: INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITSC), 2012 15TH INTERNATIONAL IEEE CONFERENCE ON, 2012. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012. p.361 –366.

TITO, A.; BORGIANI, F.; SANTOS, R. dos; TEDESCO, P.; SALGADO, A. UbiBus: Um Sistema de Informações Inteligentes para Transporte P'úblico. In: WORKSHOP TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NOS GRANDES EVENTOS ESPORTIVOS (WTICEE), 2012. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012.

TOLEDO, R. C. P. L. **Modelos microscópicos para simulação do tráfego baseados em autômatos celulares**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense.

TUMAS, G.; RICCI, F. Personalized Mobile City Transport Advisory System. In: HÖPKEN, W.; GRETZEL, U.; LAW, R. (Ed.). **Information and Communication Technologies in Tourism 2009**. [S.l.]: Springer Vienna, 2009. p.173–183.

VIEIRA, V.; CALDAS, L.; SALGADO, A. Towards an Ubiquitous and Context Sensitive Public Transportation System. In: UBI-MEDIA COMPUTING (U-MEDIA), 2011 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2011. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2011. p.174 –179.

VIEIRA, V.; SALGADO, A. C.; TEDESCO, P.; TIMES, V. C.; FERRAZ, C.; HUZITA, E.; CHAVES, A. P.; STEINMACHER, I. The UbiBus Project: Using Context and Ubiquitous Computing to build Advanced Public Transportation Systems to Support Bus Passengers. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 2012. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012.

VLASSIS, N. **A Concise Introduction to Multiagent Systems and Distributed Artificial Intelligence (Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning)**. [S.l.]: Morgan and Claypool Publishers, 2007.

WAHLE, J.; ANNEN, O.; SCHUSTER, C.; NEUBERT, L.; SCHRECKENBERG, M. A dynamic route guidance system based on real traffic data. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v.131, n.2, p.302 – 308, 2001. Artificial Intelligence on Transportation Systems and Science.

WAHLE, J.; NEUBERT, L.; ESSER, J.; SCHRECKENBERG, M. A cellular automaton traffic flow model for online simulation of traffic. **Parallel Computing**, [S.l.], v.27, n.5, p.719 – 735, 2001. Cellular automata: From modeling to applications.

WAZE. **Waze Mobile**. Access date: 03 jan. 2014, https://www.waze.com/wiki/How_Waze_calculates_routes.

WOOLRIDGE, M.; WOOLDRIDGE, M. J. **Introduction to Multiagent Systems**. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

YANG, S. On feature selection for traffic congestion prediction. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [S.l.], v.26, n.0, p.160 – 169, 2013.

YASDI, R. Prediction of Road Traffic using a Neural Network Approach. **Neural Computing and Applications**, [S.l.], v.8, n.2, p.135–142, 1999.

YEH, A.; LI, X. Modelling Sustainable urban development by the integration of constrained Cellular Automata. **International Journal of Geographical Information Science**, [S.l.], v.147, p.131–152, 2000.

ZENKER, B.; LUDWIG, B. ROSE: assisting pedestrians to find preferred events and comfortable public transport connections. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE TECHNOLOGY, APPLICATION & SYSTEMS, 6., 2009, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2009. p.16:1–16:5. (Mobility '09).

ZENKER, B.; SCHALLER, R.; SCHRADER, J.; D-ERLANGEN. **Opportunities for Leveraging Context in Pedestrian Navigation**.

ACORoute: Sistema de Recomendação de Rotas Baseado na Comunicação por Feromônios – Carla Simone Guedes Pires



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Computação



Dissertação

ACORoute: Sistema de Recomendação de Rotas Baseado na Comunicação por Feromônios

CARLA SIMONE GUEDES PIRES

Pelotas, 2014