



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**

**FELIPE AUGUSTO LIMA REIS**

**SERVIÇO BASEADO EM LOCALIZAÇÃO  
GEOGRÁFICA PARA MELHORIA DO  
ATENDIMENTO DE TÁXIS**

BELO HORIZONTE - MG

2013

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DECOM - DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

**FELIPE AUGUSTO LIMA REIS**

**SERVIÇO BASEADO EM LOCALIZAÇÃO  
GEOGRÁFICA PARA MELHORIA DO  
ATENDIMENTO DE TÁXIS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado ao  
Curso de Engenharia de Computação do Centro Federal  
de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

Orientador  
**Prof. Dr. Marconi de Arruda Pereira**  
**DECOM - CEFET-MG**

BELO HORIZONTE  
2013

# AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Silvano e Mariluce, e a minha irmã, Fernanda, que me incentivaram na realização dessa jornada.

A Leidi, pelo amor e apoio em momentos difíceis.

Ao professor Marconi de Arruda Pereira, pela confiança, dedicação e boa vontade na orientação do trabalho.

Ao professor Paulo Eduardo Maciel de Almeida, pelo auxílio na modelagem do problema e na definição dos experimentos.

Aos amigos e colegas, que transformaram esses últimos anos em momentos inesquecíveis.

"Quando a gente anda sempre para frente, não pode mesmo ir longe..."

*Antoine de Saint-Exupéry*

# RESUMO

Táxi é um meio de transporte em áreas urbanas que oferece agilidade e conforto no atendimento, sendo uma alternativa ao precário sistema de transporte público nas grandes cidades do país. Em algumas cidades, no entanto, há escassez de serviços, devido às condições de trânsito, ao aumento da demanda e à baixa eficiência operacional dos sistemas de táxi.

Uma nova solução para aumento da eficiência operacional dos sistemas de táxi é o uso de serviços baseados em localização (LBS - *Location Based Services*): o conhecimento da posição geográfica de taxistas e passageiros possibilita a melhoria da qualidade de atendimento. Nesse trabalho propõe-se a criação de um *software* para dispositivos móveis, associado a um sistema de controle de frota (OFMS - *Order Fleet and Management System*), que facilite a interação entre taxistas e passageiros. Nele, uma requisição é avaliada pela aplicação, que escolhe o melhor táxi disponível para atendê-la, diminuindo o tempo de espera dos clientes e a distância percorrida pelo taxista até o atendimento.

A solução proposta, com dois algoritmos diferentes, baseados em posicionamento absoluto, para o despacho de veículos, foi avaliada em relação ao método *broadcasting* – modo atual de escolha de táxis após a requisição a uma central telefônica. Nos testes realizados, em um sistema estacionário, conseguiu-se, por meio de simulação, a diminuição do tempo de espera dos táxis em ambos os algoritmos, quando comparado ao método *broadcasting*.

PALAVRAS-CHAVE: transporte de táxi urbano, OFMS, roteamento em tempo real, problemas de atribuição, serviços baseados em localização (LBS).

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	OBJETIVOS .....	17
2.1	OBJETIVO GERAL .....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
3.1	SERVIÇOS BASEADOS EM LOCALIZAÇÃO .....	18
3.2	RELATOS DE CASO .....	23
4	MÉTODO.....	28
4.1	TIPO DE PESQUISA .....	28
4.2	METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO SOFTWARE .....	29
4.3	METODOLOGIA DE TESTES DE SIMULAÇÃO .....	29
5	RESULTADOS .....	31
5.1	VISÃO GERAL DO SOFTWARE.....	31
5.1.1	RECURSOS DO SOFTWARE .....	31
5.1.2	FLUXO DE ATENDIMENTO DE SOLICITAÇÃO DE TÁXI .....	34
5.2	ARQUITETURA DO SOFTWARE .....	40
5.2.1	APRESENTAÇÃO .....	40
5.2.2	RECURSOS E COMPONENTES DO SERVIDOR .....	41
5.2.3	INFRAESTRUTURA.....	42
5.3	ALGORITMOS DE GERENCIAMENTO DE VEÍCULOS .....	43

5.3.1	MÉTODO BASEADO EM GPS COM MENOR TEMPO ESTIMADO DE ATENDIMENTO .....	43
5.3.2	MÉTODO BASEADO EM GPS COM DISTÂNCIA EUCLIDIANA.....	47
5.3.3	PROCESSAMENTO DA FILA DE ESPERA .....	48
6	TESTES DOS ALGORITMOS DE DESPACHO.....	50
6.1	SIMULAÇÃO DO MÉTODO <i>BROADCASTING</i> .....	50
6.2	MODELO DE AVALIAÇÃO DOS ALGORITMOS .....	51
6.2.1	SOBRE O SIMULADOR .....	51
6.2.2	CARACTERÍSTICAS DO SIMULADOR.....	53
6.2.3	ALGORITMO DE SIMULAÇÃO .....	54
6.2.4	MÉTODO DE MEDIDA DE TEMPO ATÉ ATENDIMENTO .....	54
6.2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O AMBIENTE DE TESTES .....	55
6.3	TESTES DO MODELO .....	56
6.3.1	CONDIÇÕES PARA OS TESTES .....	57
6.3.2	RESULTADOS DOS TESTES.....	60
6.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	67
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
	REFERÊNCIAS .....	73
	GLOSSÁRIO.....	79
	APÊNDICE A - FLUXO DE REQUISIÇÃO DE TÁXI.....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dispositivos rastreadores de táxis em Xangai (Xuet al. (2005)).....	23
Figura 2: Diagrama de fluxo de requisição de táxis. ....	24
Figura 3: Mapa de ocupação de táxis na cidade de Xangai (Xuet al. (2005)).....	25
Figura 4: Visualização de interface <i>web mobile</i> para clientes de táxi. ....	33
Figura 5: Exibição da localização de todos os taxistas no sistema através de mapa e tabela de posicionamento geográfico (imagem gerada a partir de simulação). ....	34
Figura 6: Diagrama de transição de estados de um taxista .....	35
Figura 7: Diagrama de transição de estados de um cliente .....	36
Figura 8: Diagrama de transição de estados - Requisição. ....	39
Figura 9: Arquitetura do <i>software</i> (baseado em (DE LA TORRE, 2010)).....	40
Figura 10: Exemplo de rotas entre taxistas e um cliente .....	45
Figura 11: Método para filtro de taxistas avaliados pelo sistema, de acordo a distância até o cliente.....	46
Figura 12: Histograma contendo a distribuição dos taxistas em relação ao ponto central (em $10^4$ execuções).....	58
Figura 13: Tempo médio de espera dos clientes nas amostras, por tipo de requisição. ....	61
Figura 14: Distância média de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição. ....	62
Figura 15: Correlação entre o tempo de atendimento e a distância percorrida.....	63
Figura 16: Tempo médio de execução dos algoritmos .....	64



Figura 17: Tempo médio de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição. ....	65
Figura 18: Distância média dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição. ....	66

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modos de despacho de táxi (adaptado de (XU, YUAN, <i>et al.</i> , 2005)) .....	20
Tabela 2: Padrão de nomenclatura dos algoritmos para os testes. ....	60
Tabela 3: Análise estatística de variabilidade dos testes.....	61
Tabela 4: Análise estatística de variabilidade dos testes.....	62
Tabela 5: Análise estatística de variabilidade dos testes.....	64
Tabela 6: Análise estatística de variabilidade dos testes.....	66
Tabela 7: Análise estatística de variabilidade dos testes.....	67

# LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1: Mecanismo para simulação de requisições. ....	54
--	----

# 1 INTRODUÇÃO

Táxi é um meio de transporte em áreas urbanas que oferece agilidade e conforto no atendimento ao público. Esse tipo de transporte é uma das alternativas ao precário sistema de transporte coletivo das cidades brasileiras, principalmente em situações atípicas, quando se deseja um deslocamento ágil.

Em diversas cidades do país já existe indisponibilidade de oferta de táxis em horários de pico do tráfego e até mesmo em horários específicos, como as noites de sábado (OLIVEIRA, 2011), (OLIVEIRA, 2012) e (TERRA S.A., 2011). Essa indisponibilidade leva as unidades controladoras de serviços de trânsito, como a responsável pelo trânsito em Belo Horizonte, a propor regras de funcionamento aos táxis conveniados (LOPES, 2012), aumentar a frota (TERRA S.A., 2011) e (OLIVEIRA, 2011), além de adotar outras medidas, de modo a possibilitar o aumento da oferta de serviços.

Entre as causas da indisponibilidade de serviços de táxi estão o trânsito nas grandes cidades e o aumento da demanda (CASTELLO BRANCO, 2012), resultado da aplicação da Lei Seca (BRASIL, 2008). Na cidade de Belo Horizonte, houve um aumento de requisições entre 15% e 20%, causando problemas no atendimento ao público (OLIVEIRA, 2011). Devido à falta de táxis, o tempo mínimo de espera de um passageiro, ao ligar para uma cooperativa em horários de pico, é de 30 minutos, sendo necessários, em média, 12 minutos até que um operador consiga um táxi para o cliente (OLIVEIRA, 2011).

Os números apresentados são referentes aos valores médios, no entanto, a disponibilidade de veículos sofre variações de acordo com a demanda, que é influenciada por diversos fatores:

- Eventos tais como shows, festas e congressos geram uma forte procura em um ponto específico, geralmente concentrada num horário (encerramento do evento);
- Dias chuvosos motivam as pessoas, que geralmente andam a pé ou de ônibus, a usar o táxi, o que gera uma grande demanda pulverizada, isto é, não há uma concentração de usuários num ponto específico (COSTA, 2011). Assim, em qualquer ponto de uma rua pode haver um usuário aguardando um táxi;
- Determinados horários onde há pico de tráfego, tais como no início e fim de expediente, além do horário de almoço, têm um aumento significativo na demanda (OLIVEIRA, 2011) (COSTA, 2011), fazendo com que os usuários tenham dificuldades de encontrar um táxi disponível no local onde ele precisa.
- Proximidade de feriados, no qual os usuários optam por deslocar-se até as rodoviárias ou aeroportos (COSTA, 2011).

Além dos problemas citados, o funcionamento do serviço de táxi, em geral, é pouco satisfatório quanto à sua eficiência operacional. As razões para isso estão relacionadas ao modo como os táxis são organizados – agendamento de serviço por ligações telefônicas, atendimento a usuários que estão nas ruas e pontos de táxi (CHENG e QU, 2009).

A ineficiência é justificada pela falta de metodologia no atendimento às requisições, sua demanda pulverizada e ao fato da maioria das solicitações seguir o

modelo de busca aleatório, onde taxistas e usuários procuram-se mutuamente, sem um método em especial.

Em geral, as informações que buscam melhorar a resposta à demanda por serviços tende a ser feita através de estatísticas geradas pelas unidades controladoras do serviço e/ou cooperativas, na troca de conhecimento entre taxistas sobre áreas de maior demanda de passageiros ou ainda na busca por potenciais eventos que aumentem consideravelmente o número de requisições.

Em busca da melhoria efetiva nos serviços prestados, é necessário que haja um balanço entre a disponibilidade, o número de requisições por regiões e informações detalhadas sobre tráfegos e rotas de acesso. Para isso, seria necessária a criação de modelos que descrevessem o comportamento dos serviços de táxi. Entretanto, devido a suas próprias características, como a quantidade de taxistas autônomos e a demanda estocástica em diferentes localizações, a criação desses modelos de funcionamento é inviável, até mesmo para representações de tamanho médio (CHENG e QU, 2009).

Uma solução para esse problema é o uso de serviços que realizam pré-agendamento de veículos, normalmente mais eficientes que aqueles originados por demandas pulverizadas. Esses serviços pré-agendados podem ser integrados a *softwares* de controle, como aqueles que realizam despacho<sup>1</sup> de veículos, já estudados por diversos autores (FLEISCHMANN, GNUTZMANN e SANDVOß, 2004) e (LIAO, 2009) com bons resultados práticos. Contudo, apesar desses bons resultados, deve-se considerar que esse tipo de requisição (agendada) representa apenas uma pequena parcela do total de atendimento ao público.

---

<sup>1</sup>do inglês, *dispatching*.

Uma solução alternativa para o cenário apresentado é o uso de rastreadores nos veículos, permitindo a utilização de serviços baseados em localização (LBS – *Location Based Services*) para aumento da eficiência operacional: o conhecimento da localização geográfica de taxistas e passageiros permite atendimentos mais eficientes.

A aplicação de tecnologias de posicionamento global para requisição de táxis já foi oferecido e estudado em Liao (2009) e Xu, Yuan, *et al.* (2005). Nesses sistemas, a solicitação de serviço de táxi é realizada por meio de centrais telefônicas de atendimento ao cliente. Nelas, o cliente informa a sua localização e o operador identifica, na frota de táxis, aqueles veículos mais próximos, solicitando que algum deles possa atender ao passageiro. Após o retorno, com a confirmação de um taxista, o usuário é informado sobre o táxi que realizará o atendimento.

No Brasil, devido ao aumento da disponibilidade de tecnologia móvel (MACEDO, 2012), há potencial para o desenvolvimento de um serviço de sucesso usando dispositivos móveis para requisição de táxis, bem como o uso de tecnologia 3G para rastreamento de veículos. O desenvolvimento de um dispositivo que aproxime usuários e taxistas contribui para melhoria dos serviços prestados à população, por meio de uma tecnologia que, em 2011, quase dobrou o número de acessos e que já atinge 83% da população, em 2.650 municípios do país (MACEDO, 2012).

Como solução dos problemas descritos, propõe-se a criação de um *software* para *tablets* ou *smartphones* que permita a solicitação de atendimento de táxi. Os taxistas, por sua vez terão em seus veículos uma versão do *software* que possibilite o aceite ou a rejeição das requisições. Utilizando essa tecnologia em composição a

um *software* de controle de frota (OFMS - *Order Fleet and Management System*), espera-se a melhora da eficiência dos táxis no atendimento ao público.

Usando a solução proposta nesse documento, busca-se a diminuição do tempo de espera por táxis, além de aumento da taxa de ocupação dos veículos. Os usuários deverão esperar menos tempo, pois serão capazes de encontrar o táxi disponível mais próximo na vizinhança. Para os taxistas, o trabalho é relevante, pois diminui a ociosidade de seus veículos, reduzindo a quantidade de quilômetros rodados sem que haja clientes.

No futuro, as informações coletadas sobre o transporte e a circulação de pessoas podem ser utilizadas para melhorar a qualidade de outros serviços de transporte destinados à população. A melhoria da situação do trânsito em grandes cidades pode reduzir custos e melhorar a perda em renda e os prejuízos devido à falta de mobilidade urbana, que somente na cidade de São Paulo atinge R\$33 bilhões de reais por ano, equivalente a 10% do PIB da cidade (MORTARIE e EUZÉBIO, 2009), e superior ao PIB da Paraíba - 18ª posição no ranking de PIB dos estados nacionais (IBGE, 2009).



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Propor um sistema de requisição de táxis que permita a aproximação de taxistas e usuários de forma a melhorar a qualidade de atendimento, através da organização das requisições por meio de serviços baseados em localização, diminuindo o tempo médio de espera.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

O trabalho tem como objetivos específicos:

- a) Diminuir o tempo médio de espera dos clientes por serviços de táxi;
- b) Reduzir o deslocamento dos taxistas para atendimento de requisições;
- c) Avaliar o ganho dos algoritmos baseados em GPS em relação ao método *broadcasting* - utilizado, hoje, no despacho de veículos;
- d) Avaliar os tempos de execução dos algoritmos propostos;
- e) Analisar como a distância do taxista influencia no tempo de espera de um cliente;
- f) Avaliar a alteração do tempo de espera por táxis quando há diminuição da oferta de serviços;
- g) Simular a requisição de táxis e a escolha do melhor taxista disponível, segundo cada um dos algoritmos;

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 SERVIÇOS BASEADOS EM LOCALIZAÇÃO

Os serviços de táxis estão presentes em diferentes localidades mundiais. Grandes centros contam, normalmente, com uma infraestrutura desses serviços, a fim de atender à demanda populacional e aos turistas, que passeiam ou realizam negócios nessas cidades.

Devido à sua abrangência, os serviços de táxi são estudados sobre diferentes óticas e em diferentes contextos, a fim de aumentar sua capacidade operacional. Em muitas localidades, o transporte por táxi já é insuficiente para atender a demanda, apesar da quantidade de veículos. Isso ocorre devido à baixa eficiência operacional dos sistemas, onde cerca de 50% do tempo disponível corresponde ao tempo de espera por passageiros, (CHENG e QU, 2009). Desse modo, a concentração de estudos, normalmente, tem como objetivo melhorar a eficiência dos serviços – em geral pouco satisfatória - sem aumentar custos (CHENG e QU, 2009).

O uso de sistemas de despacho de veículos possui bons resultados práticos em locais onde foram implantados, melhorando a eficiência operacional de táxis em grandes cidades (FLEISCHMANN, GNUTZMANN e SANDVOß, 2004) (LIAO, 2009). Em geral esses sistemas possuem um ponto principal, o OFMS (*Order Fleet and Management System*), responsável por gerenciar veículos e o fluxo de requisições de atendimento (FLEISCHMANN, GNUTZMANN e SANDVOß, 2004). Esse serviço controla todas as requisições e escolhe o responsável por cada atendimento, minimizando custos e o tempo de espera, além de maximizar a eficiência do atendimento.

Para apresentarem bons resultados, sistemas OFMS devem ter algumas características e objetivos, a fim de garantir a qualidade de resposta às requisições.

São características dos sistemas OFMS:

- Cálculo de menor rota com menor quantidade de dados, reduzindo o processamento;
- Objetividade do sistema (diminuir tempo de atendimento, aumentar a taxa de ocupação, obter o serviço mais próximo);
- Classificação adequada dos pesos para as variáveis utilizadas no algoritmo, de modo a tornar os resultados os mais eficientes possíveis;
- Filtro de dados, quando há grande quantidade de informações, por meio de estatísticas ou amostragem, de modo a ter o menor custo com processamento;

Além dessas preocupações em relação aos resultados do sistema, um OFMS também deve conhecer sua capacidade de processamento de dados e tempo de resposta, bem como o número máximo suportado de acessos simultâneos.

Recentemente, foi incorporado aos sistemas de despacho, o uso de localizações geográficas, obtidos por meio de rastreadores (XU, YUAN, *et al.*, 2005). Esses dispositivos, apesar de serem estudados há muito tempo, apenas agora passaram a ser utilizados na obtenção da localização de passageiros e taxistas.

A partir do conhecimento da posição geográfica de um cliente ou usuário, é possível determinar, de forma mais precisa, informações sobre produtos e opções de serviço que interessam a esse possível consumidor (RAO e MINAKAKIS, 2003). Segundo Jiang e Yao (2006), os serviços baseados em localização são centrados nos usuários e seu comportamento, a fim de oferecer serviços em diferentes

situações, como mapas, rotas de tráfego, serviços de localização de compras, entre outros (RAO e MINAKAKIS, 2003).

De acordo com a quantidade de informação sobre localização, é possível escolher o melhor algoritmo a fim de atender a cada requisição de maneira mais eficiente. Em Xu, Yuan, *et al.* (2005), temos as possíveis formas de atendimento quando se utiliza um método de localização de passageiros e de taxistas, como podemos ver na Tabela 1.

Informação de Localização	Posição Táxi Desconhecida	Posição Táxi Conhecida
Posição Passageiro Desconhecida	Modo <i>Random Searching</i>	Modo <i>Fixed Stop</i>
Posição Passageiro Conhecida	Modo <i>Broadcasting</i>	Modo baseado em GPS

**Tabela 1: Modos de despacho de táxi (adaptado de (XU, YUAN, *et al.*, 2005))**

O método *Random Searching* é aquele em que um passageiro espera por táxi em qualquer local na rua, enquanto o taxista se movimenta com seu veículo. Ambos desconhecem a posição do outro e a requisição é feita quando se encontram. No método *Fixed Stop*, o taxista espera por clientes em um ponto de táxi e o usuário caminha até ele (XU, YUAN, *et al.*, 2005).

O modo baseado em GPS (*GPS-based mode*) é o método no qual se sabe a posição geográfica dos taxistas e, quando uma requisição é feita à central, o táxi (ou o conjunto de táxis) mais próximo ao cliente é requisitado para atender a demanda. O modo baseado em GPS substitui o modo *broadcasting*, utilizado anteriormente – um cliente telefona para a central, que envia mensagem de rádio a todos os taxistas para que atendam a demanda por cliente, sem que a central tenha o conhecimento da localização de cada um dos táxis conveniados (XU, YUAN, *et al.*, 2005).

Ao analisar os métodos de atendimento, percebe-se que o mais eficiente, quando é conhecida a localização de taxistas e passageiros, é o despacho de

veículos baseados em GPS, uma vez que é possível definir o melhor táxi disponível para atender a solicitação. De acordo com Xu, Yuan, *et al.* (2005), esse modo de serviço é aquele a ser utilizado no futuro, com melhores resultados.

A requisição de serviços utilizando o modelo baseado em GPS permite a aproximação de clientes e taxistas, de modo que um táxi não precise ficar percorrendo uma região para encontrar um cliente. Com isso, aumenta-se a eficiência do serviço e a economia, em gastos com combustível. Além disso, é possível que os serviços de despacho utilizem essa tecnologia para otimizar a ocupação dos veículos (XU, YUAN, *et al.*, 2005), resultando em melhor atendimento aos clientes.

Além do uso de GPS, é interessante que o sistema, para atingir resultados mais eficientes, incorpore características peculiares aos serviços de táxi de um determinado local. Um comportamento típico de usuários ou taxistas, como a opção por permanecer em pontos de táxi ou circular pela cidade, quando avaliados pelo sistema, pode melhorar muito o desempenho do serviço oferecido. Características intrínsecas ao ambiente, à cidade ou ao próprio funcionamento, quando avaliados pelo sistema também podem contribuir positivamente para melhores resultados. Como referência, podemos tomar um estudo semelhante, para a previsão de horários de chegada de ônibus metropolitanos a estações de embarque e desembarque. Nesse estudo, Lin e Zeng (1999) verificaram que a inserção de outras informações adicionais ao modelo, como tabela de horários, atrasos, tempo de entrada/saída de passageiros, unidos à localização geográfica de ônibus, resultaram em previsões mais próximas da realidade, quando comparadas a

previsões em que nenhuma ou apenas algumas dessas informações eram utilizadas em conjunto à posição geográfica dos veículos.

Através da experiência obtida por Lin e Zeng (1999), pode-se dizer que a construção de um sistema completo deve avaliar diferentes fatores, além da localização de passageiros e taxistas. O conhecimento de pontos de lentidão, o mapeamento geográfico dos pontos de maior incidência de “corridas de táxi”, horários de pico e até mesmo dados meteorológicos (ex. chuva) podem aumentar consideravelmente a eficiência do sistema.

Para obtenção de melhores resultados, é possível, além de incorporar características comuns aos serviços de táxi, utilizar modelos já estudados por outros autores. Vários estudos estabeleceram modelos matemáticos que definem o comportamento de serviços de táxi. Wong, Wong e Yang (2001) definiram o comportamento dos motoristas, a disponibilidade mínima de veículos em uma frota e a definição de tempos para diferentes serviços de táxi. A partir de fórmulas obtidas, tais como a média de espera por táxi e a quantidade de quilômetros nos quais um táxi roda desocupado, é possível desenvolver soluções em busca de minimizar essas situações.

A partir de diferentes modelos matemáticos é possível reunir bases para a construção de um sistema completo, com características comuns a todos os sistemas de táxi e com possibilidade para incorporação de particularidades de diferentes centros urbanos. De posse de estudos sobre as melhores técnicas para atendimento ao público, pode-se desenvolver um único sistema que incorpore funcionalidades e permita a resposta à requisição de usuários de maneira automatizada, resultando em benefícios para taxistas e usuários.

Para esse sistema, conforme pudemos verificar em Xu, Yuan, *et. al*, é necessário o conhecimento da posição de taxistas e usuário, além de seguir as características essenciais de um bom OFMS, a fim de garantir confiabilidade e qualidade na resposta a solicitações de corridas de táxi.

## 3.2 RELATOS DE CASO

Em diversas cidades do mundo, como Londres, Singapura e Xangai, foram desenvolvidos sistemas que utilizam serviços baseados em localização para melhor atender o público.

No sistema descrito por Xu, Yuan, *et. al*. (2005), em Xangai, os veículos da companhia de táxi DaZhong são equipados com rastreadores GPS, que informam o posicionamento de cada unidade. O equipamento, além do rastreamento de veículos, permite a utilização do rádio e resposta a requisições de atendimento por meio de um botão, que aceita ou recusa uma solicitação de serviço. A Figura 1 mostra o equipamento instalado nos táxis da Companhia DaZhong.



Figura 1: Dispositivos rastreadores de táxis em Xangai (Xuet al. (2005)).

A requisição de serviços de táxis ocorre através de chamadas telefônicas. Nessas chamadas, o usuário informa sua localização e a central de despacho

(*dispatching center*) automaticamente identifica a unidade de táxi mais próxima ao cliente. À medida que o taxista aceita a requisição, o cliente é informado sobre o tempo necessário até o atendimento. O funcionamento do sistema pode ser visto de modo mais bem detalhado através do diagrama da Figura 2.

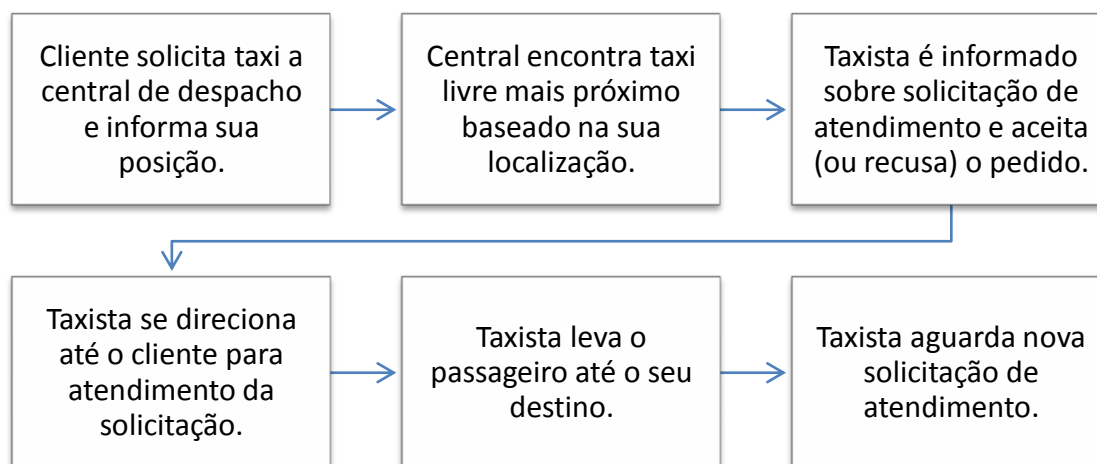


Figura 2: Diagrama de fluxo de requisição de táxis.

A central de despacho de veículos da DaZhong (*DaZhong Dispatching Center* – *DZDC*) possui tanto o controle da localização dos táxis de sua frota quanto a identificação de ocupação do veículo, possibilitando o atendimento a uma requisição de forma mais rápida e precisa (XU, YUAN, *et al.*, 2005). As informações de ocupação de táxi na cidade de Xangai são mostradas aos operadores, como pode ser visto na Figura 3, por meio de um mapa que contém todos os veículos e seus respectivos status de ocupação, identificados por cores: ocupados aparecem em vermelho e desocupados, em verde.



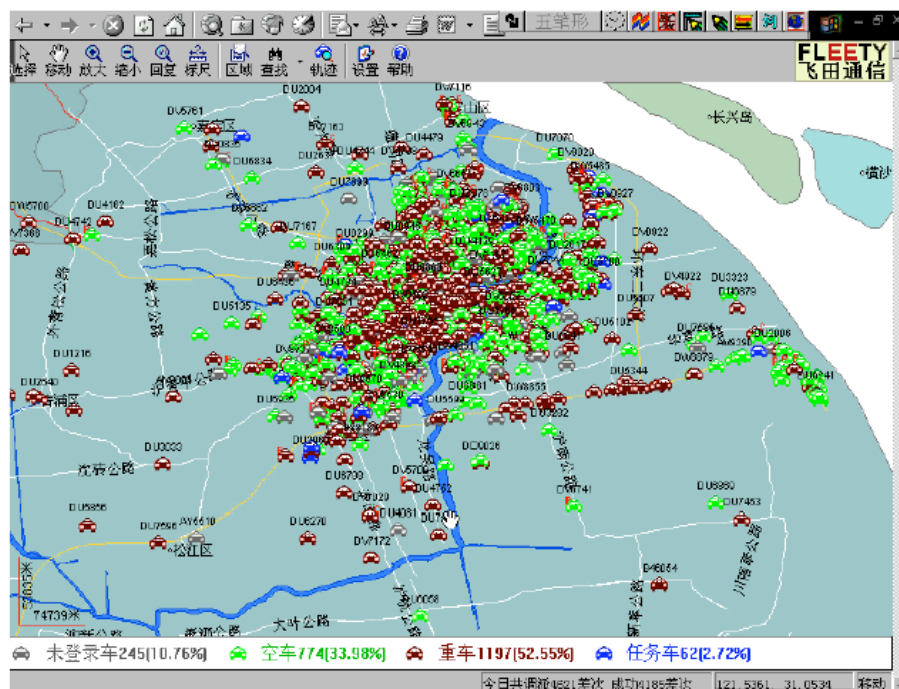


Figura 3: Mapa de ocupação de táxis na cidade de Xangai (Xuet al. (2005)).

O sistema utilizado em Singapura, chamado de AVLDS, apresenta algumas diferenças em relação àquele oferecido em Xangai pela companhia DaZhong. A sigla AVLDS é o acrônimo para *Automatic Vehicle Location and Dispatch System* (Sistema de Localização Automática e Despacho de Veículos). Esse serviço tem como objetivo o controle da frota de táxis disponíveis na cidade.

O sistema AVLDS é utilizado por diferentes companhias de táxi em Singapura, ao contrário daquele estudado em Xangai, disponível apenas para uma companhia de táxi. A cidade contém estações de transmissão de dados entre taxistas e uma central de processamento. A partir da requisição de um cliente, por diferentes canais (telefone, fax ou celular), o sistema AVLDS identifica a rota de cada veículo próximo ao atendimento e envia a requisição a um grupo de taxistas próximos, que podem aceitar ou não a corrida (LIAO, 2009).

O taxista que estiver próximo à requisição, pode, assim como no sistema de Xangai, aceitar a requisição através de um botão, existente no dispositivo instalado

em seu veículo. Caso aceite, o sistema define o taxista como responsável pelo atendimento. Caso nenhum taxista aceite a requisição em até 10 segundos, o sistema automaticamente busca por novos taxistas e envia uma nova solicitação de atendimento (LIAO, 2009).

O sistema utilizado em Singapura procura manter a segurança e confidencialidade da requisição ao informar apenas um número PIN<sup>2</sup> do usuário, de modo com que ele não possa ser identificado (LIAO, 2009).

Uma preocupação relevante do sistema é não retirar a atenção do motorista, exibindo informações complexas na tela do dispositivo. A mensagem utilizada pelo sistema é feita de forma breve e clara, sem interferir na instrumentação do veículo. Como o taxista deve interagir com o sistema, sua atenção não pode ser desviada do trânsito por um longo período, uma vez que isso pode ocasionar acidentes.

Como resultado da implantação desses sistemas, tanto em Xangai quanto em Singapura, foi constatado aumento da produtividade e remoção de mal entendidos entre taxistas e operadores da central de atendimento (LIAO, 2009) (XU, YUAN, *et al.*, 2005).

Em Xangai, o sistema DZDC foi responsável por diminuir o tempo médio de espera de 30 minutos para 15 minutos, quando utilizada a identificação por GPS em relação ao modo *broadcasting*. Para o taxista, a melhoria obtida com o uso do sistema foi a diminuição de 32% para 16% nas distâncias percorridas sem passageiros em relação ao total percorrido, o que significa redução de custos e maior produtividade (XU, YUAN, *et al.*, 2005).

---

<sup>2</sup> Número de Identificação Pessoal (PIN – *Personal Identification Number*)

O sistema AVLDS, em Singapura, possibilitou melhorias semelhantes às aquelas atingidas em Xangai. Em um estudo anterior, Liao (2001) avaliou as melhorias da utilização do AVLDS em relação ao mecanismo existente anteriormente na cidade, no qual as requisições eram feitas por telefones e não havia conhecimento sobre a localização dos veículos. Nele foram medidos diferentes fatores como a precisão e eficiência do sistema, a aceitação do usuário e produtividade, através de pesquisa com operadores de 3 diferentes companhias que utilizam o sistema. Segundo a pesquisa de aceitação realizada nesse trabalho, o uso de sistemas baseados em localização absoluta permitiu aumento da precisão, comunicação e operações de expedição. Segundo Liao (2001), a medida que os sistemas de GPS forem sendo implantados, verificar-se-á melhoria em operações e serviços.

Como se pode observar nos resultados obtidos pelos artigos Liao (2001), Liao (2009) e Xu, Yuan, *et al.* (2005), os sistemas de despacho de veículos contribuem para a melhoria do atendimento de usuários de serviços de táxis nas cidades em que foram implantados.

## **4 MÉTODO**

### **4.1 TIPO DE PESQUISA**

O tipo de pesquisa adotado no trabalho, quanto a sua natureza, é classificada como pesquisa aplicada ou tecnológica. Esse tipo de pesquisa tem como objetivo a aplicação do conhecimento a fim de produzir novas tecnologias e conhecimentos tecnológicos. Como resultado, espera-se a produção de produtos, processos ou patentes (TAUCHEN, 2009).

O tipo de pesquisa, quanto aos objetivos, é classificado como pesquisa exploratória. Nela, baseado em intuições dos pesquisadores sobre áreas que acreditam serem mais promissoras, procura-se o aprimoramento de ideias ou a descoberta de novas técnicas, processos ou áreas para pesquisa mais intensiva (ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - USP, 2012) (TAUCHEN, 2009).

Quanto aos procedimentos adotados para a realização da pesquisa, a mesma pode ser considerada experimental e operacional. As pesquisas do tipo experimental são aquelas que utilizam o empirismo para a aquisição de conhecimento. Além disso, a pesquisa a ser realizada tem um forte caráter prático, na construção de artefatos que permitam que a suposição inicial seja provada. A pesquisa também pode ser considerada operacional por alterar todo o processo no qual está inserida, contribuindo na tomada da melhor decisão (TAUCHEN, 2009).

## 4.2 METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO SOFTWARE

Para o desenvolvimento do projeto buscou-se utilizar uma metodologia de desenvolvimento capaz de criar de novas funcionalidades, modificação nos requisitos, equipes pequenas e datas de entregas curtas. Essas características requerem o uso de uma metodologia ágil (SOARES, 2004).

Dentre as metodologias de desenvolvimento ágeis, aquela escolhida para o desenvolvimento do projeto foi o Scrum. Foi adotado uma variação dessa metodologia, destinada a desenvolvedores individuais, o *Scrum Solo*. Nela, todos os papéis do Scrum, exceto aquele de PO (*Product Owner*), são exercidos pelo responsável pelo desenvolvimento. Mesmo contando com apenas um profissional para o desenvolvimento do projeto, ainda é possível aproveitar alguns princípios do Scrum no modelo *Solo* como o *backlog* de produto (*Product Backlog*), o *Sprint* (e seu *backlog*) e a retrospectiva (WIKIPEDIA, 2012).

## 4.3 METODOLOGIA DE TESTES DE SIMULAÇÃO

Os resultados da simulação foram submetidos a métodos de análise estatísticos a fim de avaliar as amostras médias e definir a confiança dos testes realizados. Sobre os testes, usando os valores médios encontrados, utilizou-se a análise de variância *One-way ANOVA* e o teste de Tuckey.

A análise de variância é um método estatístico para comparação de amostras, usando distribuição F, a fim de verificar se a variância entre populações é semelhante (DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA - UFPR, 2009). A análise de variância simples (*One-way ANOVA*) somente avalia um único fator.

A *One-Way* ANOVA, segundo Departamento de Estatística - UFPR (2009), “baseia-se na decomposição da variação total da variável resposta em partes que podem ser atribuídas aos tratamentos (variância entre) e ao erro experimental (variância dentro)”.

O método ANOVA deve ser utilizado para variáveis escolhidas via amostras aleatórias e com distribuição normal, em cada grupo. Nessas populações, a média de um grupo deve diferir de outro, porém o desvio padrão deve-se manter igual (SCOFIELD, 2012). O método ANOVA requer a análise de três ou mais amostras para poder ser processado (DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA - UFPR, 2009).

O teste de Tuckey é utilizado para comparar a magnitude das diferenças entre amostras, através de um teste de comparação múltipla (DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA - UFPR, 2009). Esse teste permite confrontar duas médias de amostras entre si, indicando a diferença entre eles.

O teste de Tuckey baseia-se na Diferença Mínima Significativa (DMS), sendo usado para comparações de média, com um nível de significância - em geral entre 1% e 5%. Ele é, de certa forma, independente do teste F e pode ser usado em composição a *One-way* ANOVA, a fim de avaliar o contraste entre as médias (DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA - UFPR, 2009).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 VISÃO GERAL DO SOFTWARE

A solução proposta nesse documento foi criada para funcionar prioritariamente com duas formas de solicitação de serviços de táxi: as requisições *web* e *mobile*. O protótipo, aqui descrito, procurou atender aos objetivos do trabalho: um mecanismo para aproximar taxistas e passageiros, através de um sistema LBS (*Location-Based Service*).

Para construção da solução foi desenvolvido um *software* com interfaces *web*, *web mobile* e *app* (aplicativo para dispositivos móveis) que permite o conhecimento da posição dos taxistas e passageiros. O *software* possibilita aos clientes a requisição de táxis e, aos taxistas, o aceite da requisição.

Os principais recursos do *software* estão disponíveis em todas as interfaces do sistema, porém alguns poucos recursos somente foram disponibilizados na interface *web*, uma vez que no *app* ou na interface *web mobile*, esses recursos se tornam difíceis de serem utilizados, devido ao tamanho dos dispositivos e ao propósito da solução.

#### 5.1.1 RECURSOS DO SOFTWARE

A construção do *software* iniciou-se, após uma análise de requisitos, pelo desenvolvimento dos cadastros básicos de clientes e taxistas. Em seguida foram desenvolvidos os mecanismos de localização e o fluxo de atendimento. Os algoritmos de despacho de veículos foram construídos na última etapa de

desenvolvimento do *software*. De modo a tentar manter a sequência lógica de dependências entre os requisitos, a apresentação do sistema seguirá a mesma ordem de desenvolvimento da solução.

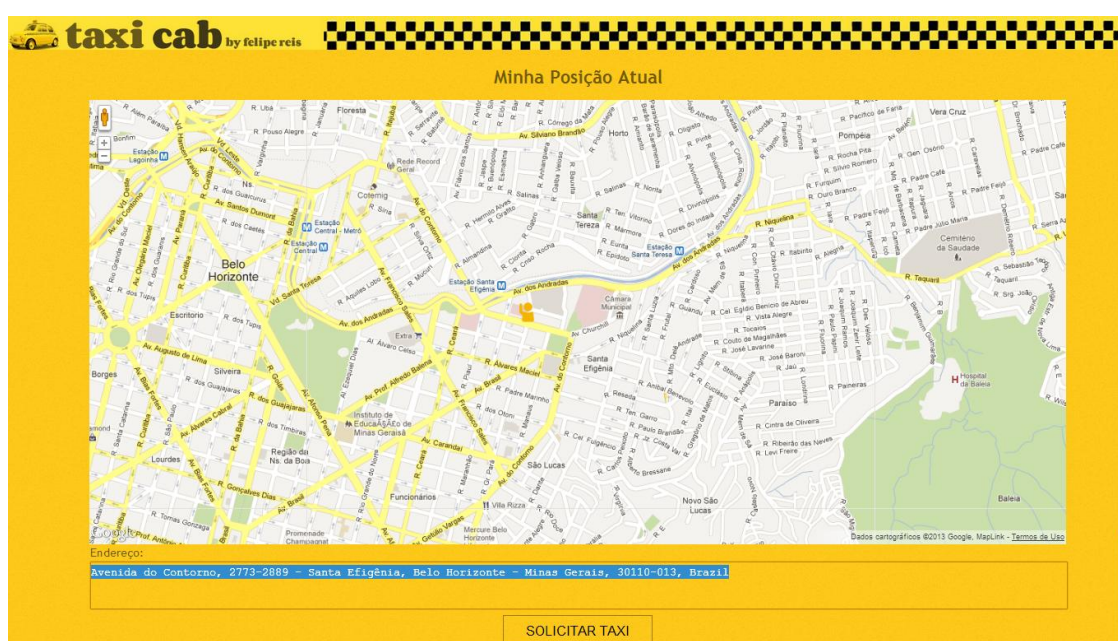
O pontapé inicial do sistema foi a construção dos cadastros para identificação de usuários, seguido pela rotina de acesso ao *software*, através da interface de *login*. Nela, passageiros e taxistas devem se autenticar para acesso ao conteúdo. No caso de taxistas, a autenticação carrega automaticamente informações do veículo a ele associado e sua posição georreferenciada. A associação entre taxistas e veículos é feita durante o processo de cadastro, no qual há necessidade de preenchimento tanto de informações básicas de identificação – placa, modelo e cor do veículo – quanto informações de licença de tráfego, CNH do motorista, entre outros.

Na etapa de cadastro do veículo também é associado o código do rastreador e sua chave de segurança, geradas automaticamente no aplicativo para dispositivos móveis de rastreamento de taxistas através de identificadores *Guid* (*Globally Unique Identifier*). O *Guid* é uma implementação do padrão Universal Unique Identifier (UUID), constituído de 32 hexadecimais aleatórios, com 6 bits fixos, sendo indicados para registros únicos e persistentes (IETF, 2005) (MICROSOFT, 2012).

A identificação da posição de taxistas e usuários é feita pelo *software* de duas maneiras distintas. O posicionamento dos taxistas é realizado por meio de um *software* do tipo *app*, que envia, em intervalos iguais, a posição do veículo para o servidor de gerenciamento de frota. As informações de localização dos taxistas são realizadas através de acesso ao serviço de GPS existente no celular (A-GPS) e exibida a eles através da interface de interação com o usuário.



A localização do cliente é realizada apenas através das interfaces *web* do *software*, que utilizam o padrão HTML5, com o recurso de Geolocalização. Esse recurso somente é atualizado no momento em que o cliente acessa ao sistema. Pode-se visualizar a interface de localização de um cliente em um *browser mobile*, na Figura 4.

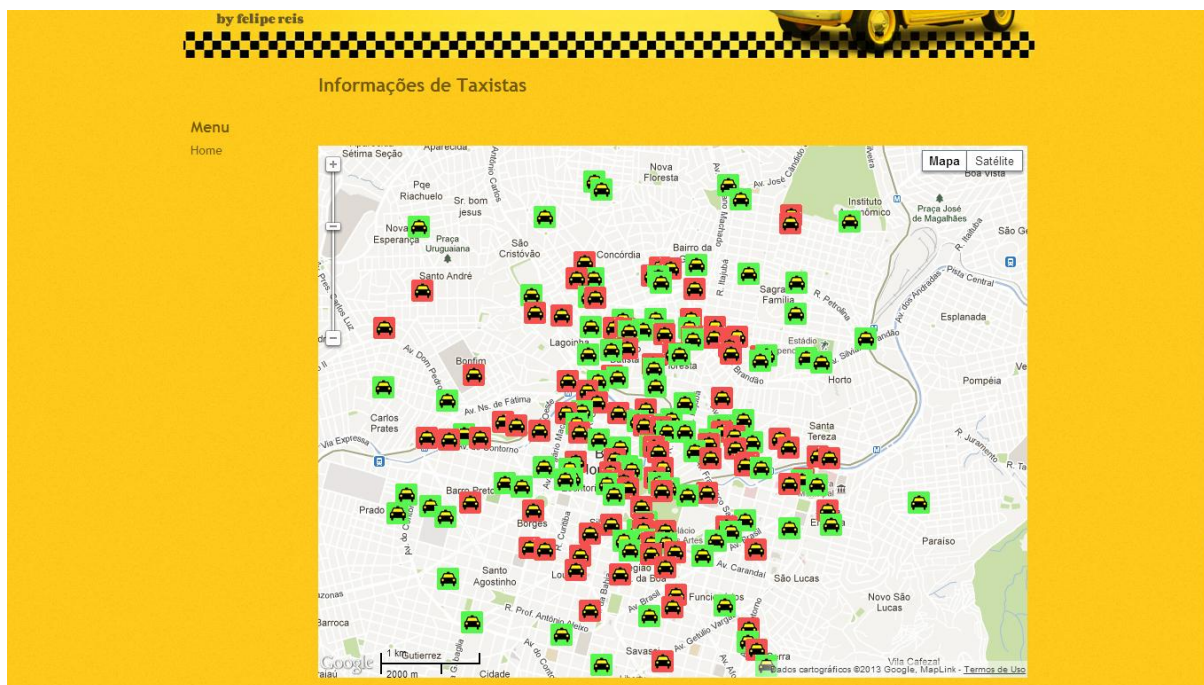


**Figura 4:** Visualização de interface *web mobile* para clientes de táxi.

O cliente, a partir da interface de visualização de sua posição (tela inicial após a autenticação), poderá realizar requisições de táxi. Para isso, deverá confirmar a posição encontrada através do recurso de geolocalização ou alterá-la, para solicitar o táxi para outra localidade. Após a solicitação, a requisição será atendida pelo taxista mais apto, segundo o algoritmo de despacho de veículos utilizado pelo sistema.

Ao fim da requisição de táxi e da resposta de confirmação do taxista selecionado para atendimento, a solicitação será armazenada no *software* até a sua conclusão. Um administrador do sistema poderá visualizar as solicitações já

realizadas, o status dos taxistas e as requisições em curso através da interface na área do Administrador. A interface exibe as posições dos taxistas e seus respectivos status em um mapa, conforme pode ser visto na Figura 5.



**Figura 5: Exibição da localização de todos os taxistas no sistema através de mapa e tabela de posicionamento geográfico (imagem gerada a partir de simulação).**

### 5.1.2 FLUXO DE ATENDIMENTO DE SOLICITAÇÃO DE TÁXI

O *workflow* de requisição corresponde ao fluxo de atendimento de uma solicitação de serviço de um cliente por um taxista. Esse processo engloba desde o processamento de escolha do melhor táxi até a finalização do atendimento. Nessa seção será discutida a sequência de funcionamento do sistema, enquanto a Seção 5.3 será destinada a avaliação do algoritmo de escolha do melhor taxista.

Como base para o atendimento de uma requisição de táxi, deve-se considerar a existência de taxistas autenticados no sistema e que realizam o envio de sua

posição geográfica regularmente, em períodos de tempo fixo, mantendo sua localização atualizada.

Considerando que um taxista esteja sendo monitorado pelo sistema, o *software* utiliza informações de sua disponibilidade para atendimento a requisições, ou seja, avalia se o taxista possui passageiros ou está desocupado. O taxista além dos estados “Livre” ou “Em Atendimento” poderá ter os seguintes status: “Esperando Confirmação de Requisição”, “Suspenso” ou “Fora de Circulação”. Esses estados são analisados pelo *software* para definir o responsável por uma solicitação de atendimento ou para que sistema reconheça a ausência de um taxista. Um exemplo é o estado “Suspenso”, quando um taxista está ausente do sistema devido a uma pausa para descanso. Pode-se ver a alteração dos estados dos taxistas através do diagrama de Estados da UML na Figura 6.

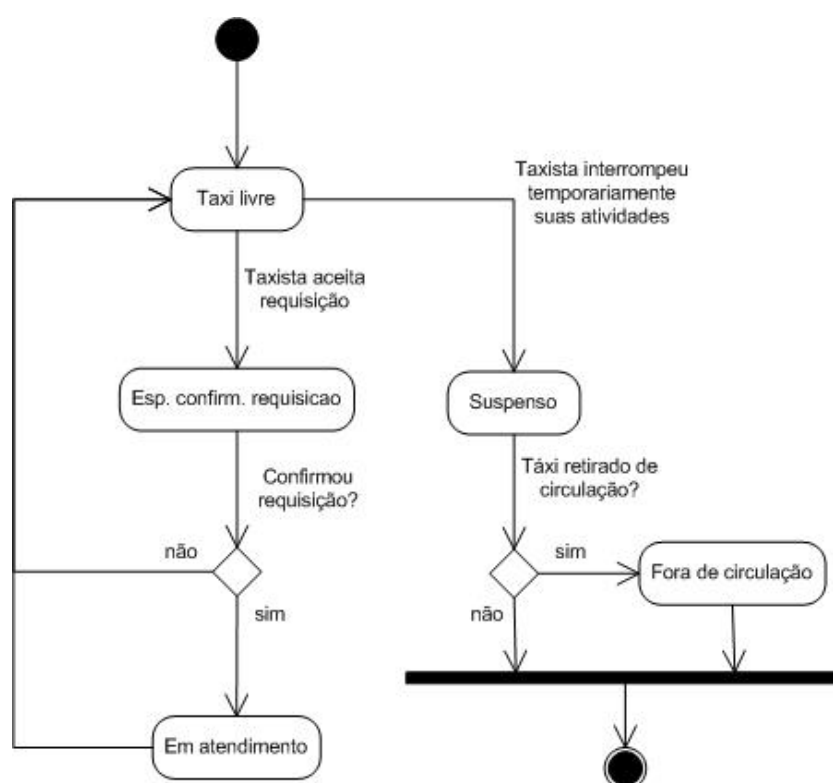


Figura 6: Diagrama de transição de estados de um taxista

Um cliente, assim como os taxistas, tem seu status monitorado pelo *software*. Para que uma requisição seja realizada, é necessário que o cliente possua seu status como “Livre”, pois, caso já esteja em um atendimento, o sistema não permitirá uma nova solicitação. Podemos visualizar os possíveis estados para um cliente, bem como a transição entre eles através do diagrama da Figura 7.



**Figura 7: Diagrama de transição de estados de um cliente**

Ao final da solicitação de atendimento, o sistema iniciará o processo de escolha do melhor taxista disponível e indicará o responsável. Caso nenhum taxista seja localizado, o cliente aguardará na fila de espera.

Considerando um fluxo convencional do sistema, no qual o usuário será atendido por um taxista próximo a ele, pode-se considerar as seguintes etapas de interação entre clientes, taxistas e o sistema:

- a) O cliente realiza uma requisição de atendimento;
- b) O sistema identifica o taxista mais apto a atendê-lo;
- c) O sistema informa ao taxista mais apto sobre a requisição;
- d) O taxista aceita a solicitação;
- e) O cliente confirma a o pedido;
- f) O taxista é informado sobre o aceite do cliente e dirige-se ao local onde este se encontra;
- g) Após o início do atendimento, o taxista informa ao sistema sobre o início da “corrida”;
- h) Quando chegar ao destino, o taxista informará ao sistema sobre a conclusão do atendimento;
- i) Os estados do cliente e do taxista, após o fim do atendimento, são alterados para “Livre”.

Para cada uma das etapas descritas acima, é possível identificar os fluxos de exceção, bem como a alteração dos estados da requisição. Na primeira etapa, o cliente realizou uma solicitação de atendimento ao sistema e a requisição automaticamente assumiu o estado de “Requisição Realizada”.

Logo após a solicitação de atendimento, o sistema realiza seu processamento e encontra o melhor taxista para atendê-la. Caso um taxista seja encontrado, a requisição assume o estado “Aguardando Resposta”. Caso contrário, a requisição entra na fila de espera e assume o valor “Em processamento”.

Ao ser informado sobre a existência de uma requisição, o taxista deverá indicar ao sistema, o mais breve possível, o aceite da requisição. Caso isso seja feito, a requisição terá como status “Aguardando Confirmação”, onde o cliente

deverá informar se confirma ou não a solicitação. Antes da confirmação do cliente, é exibido a ele o tempo de espera previsto até o atendimento e a distância que o taxista percorrerá, a fim de que possa avaliar se o tempo é adequado as suas necessidades. Caso o cliente concorde com o atendimento, o status da requisição será alterado para “Aguardando Atendimento”. Caso contrário, a solicitação será alterada para “Cancelado”.

Supondo que o cliente aceitou as condições de atendimento, o taxista deslocar-se-á até o local onde o cliente está. Na interface do taxista são exibidas as informações de localização do cliente, bem como o trajeto indicado.

Após iniciar o atendimento, o taxista deverá alterar o status da requisição no sistema para “Em Atendimento”. Essa informação de início da prestação de serviço, bem como a alteração para o estado de “Finalizado”, deverá ser realizada pelo taxista para permitir que o sistema identifique corretamente o fluxo de requisição e seja capaz, no futuro, de gerar estatísticas, como o tempo médio de espera e o tempo médio de uma corrida.

Finalizado o atendimento, o sistema armazenará todas as informações no banco de dados para posterior consulta. O *log* de alterações de estados, bem como o horário da transição entre eles será também persistido na base de dados. Podemos visualizar, na forma de diagrama, o fluxo de alteração dos estados da requisição por meio da Figura 8.

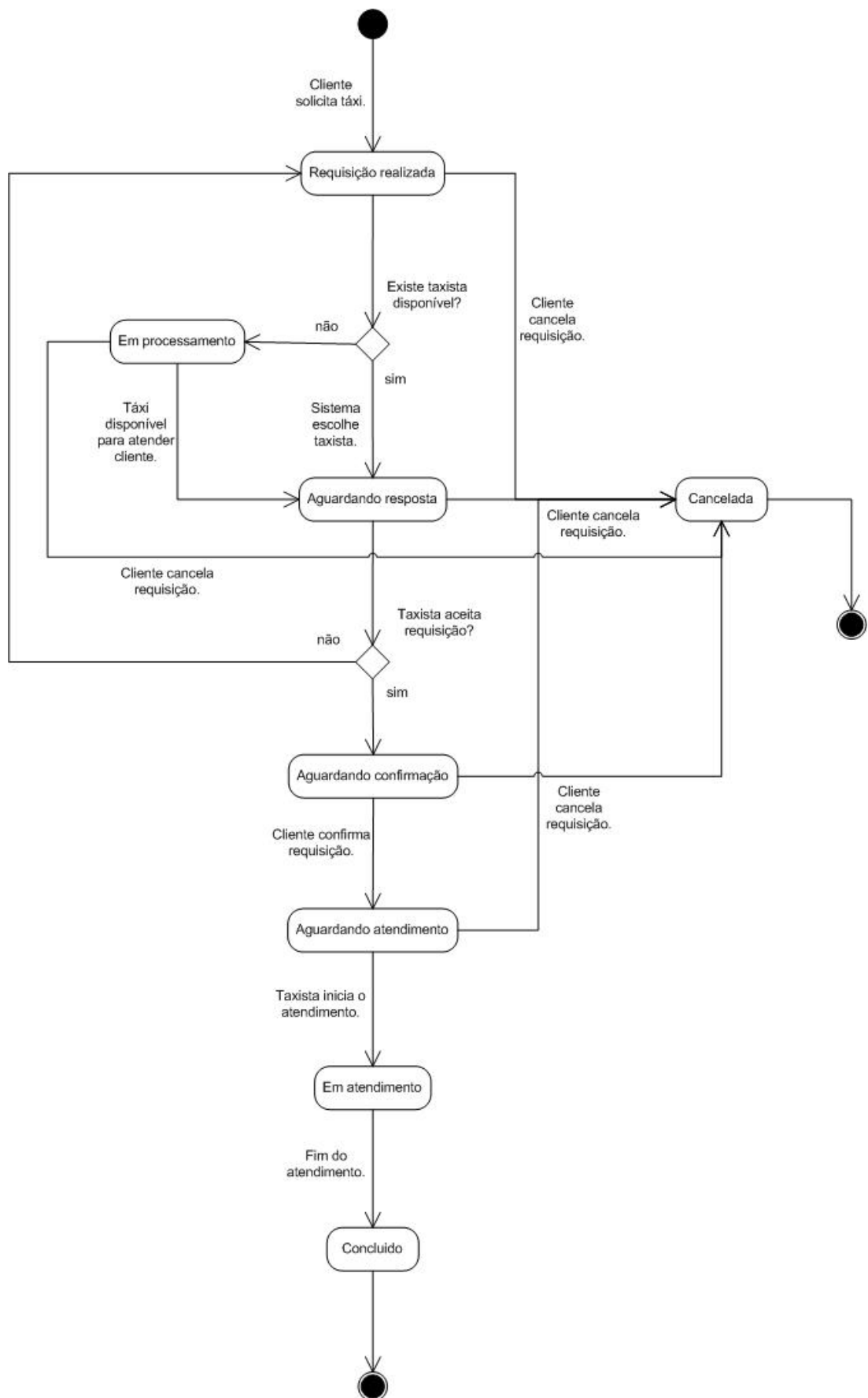


Figura 8: Diagrama de transição de estados - Requisição.

## 5.2 ARQUITETURA DO SOFTWARE

A arquitetura do *software* foi baseada no modelo DDD (*Domain-Driven Design*). O diagrama correspondente à arquitetura está disponível na Figura 9.

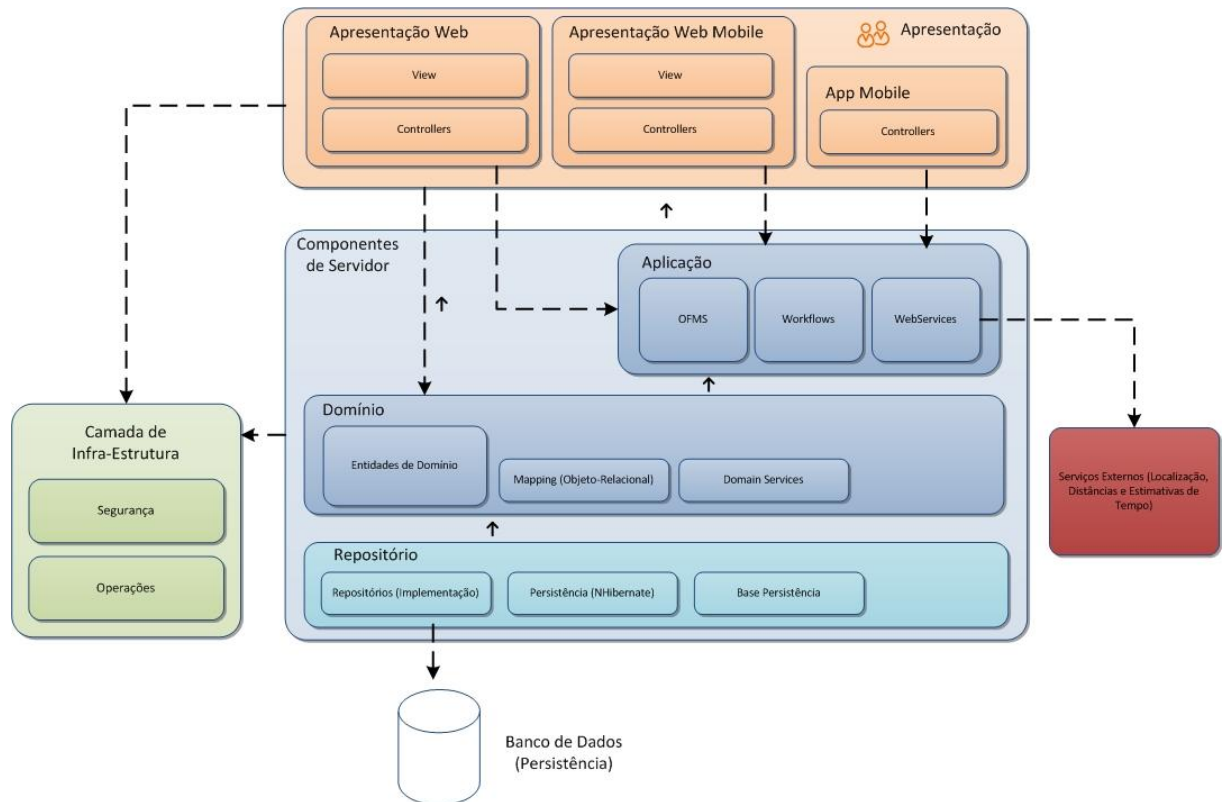


Figura 9: Arquitetura do *software* (baseado em (DE LA TORRE, 2010))

### 5.2.1 APRESENTAÇÃO

A apresentação contém as interfaces utilizadas pelos usuários para interação com o sistema. Como o *software* poderá ser acessado por meio de dispositivos móveis, foram desenvolvidas duas interfaces diferentes para acesso. Uma delas, a interface *web*, é direcionada aos usuários que não utilizarão dispositivos móveis para requisição de serviços. A interface *web mobile* é direcionada aos usuários que realizarão sua requisição utilizando *tablets* ou *smartphones*. Ela também será utilizada pelos taxistas para respostas aos pedidos de táxi.



A interface *web mobile* possui recursos de tamanho compatível com pequenos dispositivos, como *smartphones*, além de contar com um número menor de funcionalidades, a fim de melhorar a usabilidade. Caso queira, o usuário poderá alterar a exibição da página *web mobile* para a versão clássica, utilizada em dispositivos convencionais, de modo a visualizar mais recursos do *software*.

Além dessas interfaces de requisição de táxis e visualização de informação, um *app*, com acesso ao serviço A-GPS do dispositivo móvel, monitora a posição geográfica de taxistas. Esse *software* roda em *background* no aparelho celular do taxista e informa ao sistema sua posição. As requisições, entretanto, deverão ser respondidas pelo taxista através da interface web ou *web mobile*.

## **5.2.2 RECURSOS E COMPONENTES DO SERVIDOR**

Na camada de recursos e componentes do servidor, temos uma divisão em aplicação, domínio e repositório.

O domínio representa o processo de negócio que está sendo automatizado pelo sistema (AVRAM e MARINESCU, 2006). Ele define o modo como a informação é organizada no *software*: contêm todas as entidades e seus respectivos atributos, propriedades, métodos e regras.

A camada de domínio, segundo Avram e Marinescu (2006) é definida como o coração de um *software* de negócios. Nela são armazenadas todas as informações de estados dos objetos. Na arquitetura criada para o *software*, baseado na metodologia DDD, o modelo de domínio engloba toda a parte de negócios do problema, interagindo com as camadas de serviços e acesso a dados.

As informações de domínio são persistidas em um banco de dados relacional, utilizando o arcabouço de *software* NHibernate. O acesso aos dados é realizado através da camada de repositório, responsável por intermediar a relação entre o banco e a aplicação. No repositório estão as consultas para obtenção de dados persistidos, as *queries* para retorno de informações e as rotinas para manipulação de dados – *inserts*, *deletes* e *updates*.

A camada de aplicação, por sua vez contém informações correspondentes às regras de funcionamento da solução e regras da aplicação que não são de responsabilidade somente das classes de domínio. Nessa camada encontram-se as rotinas para avaliação do melhor táxi para atendimento e o gerenciador do fluxo de requisição.

A camada de aplicação provê relacionamento com serviços externos de mapas e cálculos de rotas entre dois pontos. O serviço utilizado para fornecimento de localização em mapa, rota entre clientes e táxis é o Google Maps API, através de recurso *web service*. As informações retornadas pelo *web service* são utilizadas para avaliação do taxista mais próximo aos clientes, como será melhor especificado na Seção 5.3.

### **5.2.3 INFRAESTRUTURA**

A camada de infraestrutura fornece funcionalidades utilizadas por todas as camadas do *software*. Essa camada possui recursos correspondentes à segurança da aplicação, rotinas úteis ao desenvolvimento e operações recorrentes. Esses recursos são armazenados nessa camada a fim de evitar a replicação de código e unificar funcionalidades existentes em diversas partes do sistema.

## **5.3 ALGORITMOS DE GERENCIAMENTO DE VEÍCULOS**

A escolha do melhor táxi para atendimento de uma requisição foi desenvolvida sobre o modo de despacho baseado em GPS (posição absoluta do táxi). Nesse método, a posição geográfica de passageiros e taxistas são conhecidas previamente, possibilitando a escolha do melhor veículo para atendimento.

Considerando apenas o método de despacho baseado em GPS, que sabemos que é mais eficiente que outras formas de despacho (XU, YUAN, *et al.*, 2005), podemos construir diferentes algoritmos que utilizam esse mecanismo e avaliá-los entre si e em relação ao método *broadcasting*.

A fim de analisar a eficiência de algoritmos baseados em GPS, testou-se os dois métodos desenvolvidos para solução do principal objetivo do trabalho: diminuir o tempo médio de espera por atendimento.

As seções 5.3.1 e 5.3.2 descreverão o funcionamento de cada um desses algoritmos, enquanto a Seção 6.3 medirá a eficiência e os custos computacionais.

### **5.3.1 MÉTODO BASEADO EM GPS COM MENOR TEMPO ESTIMADO DE ATENDIMENTO**

Uma das soluções para escolha do melhor taxista responsável por uma requisição é o desenvolvimento de um algoritmo que sempre selecione o veículo cuja estimativa de tempo de atendimento é a menor possível.

Para isso, devemos estimar o tempo de deslocamento de cada um dos taxistas em relação ao cliente, baseado na rota real entre o taxista e o passageiro. A

API do Google Maps fornece o serviço de cálculo da rota entre dois pontos e o tempo esperado para o trajeto, que são utilizados para realização das estimativas. A partir dos tempos de deslocamento de todos os taxistas, escolhemos aquele com menor tempo.

Existe, no entanto, um problema nessa solução simplificada: é necessária a realização de inúmeras requisições à API do Google para avaliação de rota e tempo estimado de atendimento. O custo para avaliação de todos os taxistas torna o processamento de uma requisição muito lenta. Considerando um exemplo real, como a cidade de Belo Horizonte, cuja frota de táxis é de 5961 veículos (ESTADO DE MINAS, 2012) e o número de viagens é de 60.000 por dia (ESTADO DE MINAS, 2012), a quantidade de requisições torna-se inviável.

A fim de diminuir o número de taxistas processados em uma requisição, o sistema filtra os taxistas mais próximos do cliente, através da distância euclidiana entre eles. Esse pré-processamento considera que a distância euclidiana entre um taxista e um cliente influencia diretamente no tempo de deslocamento.

Em uma situação real, no entanto, a distância euclidiana pode se mostrar ineficiente, uma vez que um táxi mais próximo, quando avaliado somente por esse critério, poderá demorar mais para deslocar-se até o cliente do que um táxi ligeiramente mais distante, mas que apresente uma rota diferente. Podemos verificar um exemplo dessa situação por meio da Figura 10. Nessa imagem, podemos ver que apesar do Taxista 1 estar mais próximo ao Cliente 1 que o Taxista 2, utilizando o critério de distância Euclidiana, o Taxista 2 deverá percorrer uma distância menor que a do Taxista 1 para atender a solicitação.

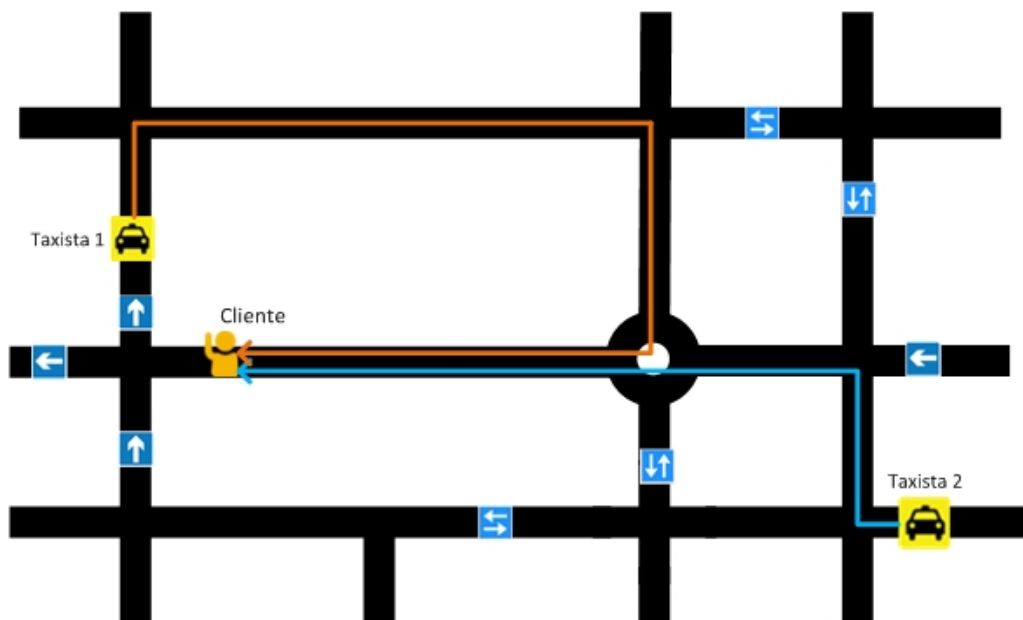


Figura 10: Exemplo de rotas entre taxistas e um cliente

A fim de evitar a situação descrita no exemplo acima, o algoritmo de processamento de requisições de táxi não avalia somente o taxista mais próximo, porém um conjunto de  $N$  taxistas próximos ao cliente. Com isso, o processamento mantém-se baixo e evita-se situações semelhantes.

A limitação da quantidade de taxistas avaliados para atendimento é baseada principalmente na distância até o cliente. Para isso são filtrados os taxistas que se encontram em determinada faixa de distância Euclidiana até o passageiro. Quando existem taxistas dentro dessa faixa, esses são escolhidos para serem avaliados quanto ao menor tempo de atendimento possível. Quando não são encontrados taxistas dentro da faixa de distância mínima tomada como limite para filtro, o algoritmo procede do seguinte modo:

- a) Aumenta-se a faixa de distância mínima para encontrar taxistas
  - a. Caso seja encontrado ao menos um taxista nessa nova faixa, ocorre o processamento para escolha do melhor veículo para atender a demanda;

- b. Caso não sejam encontrados taxistas, aumenta-se novamente a faixa de distância;
  - i. Caso seja encontrado ao menos um taxista, ocorre novo processamento sobre os taxistas encontrados;
  - ii. Caso contrário, o sistema conclui que não há taxistas próximos e coloca o cliente na fila de espera de requisição;

Podemos compreender melhor essa situação com auxílio da Figura 11. Em resumo, os taxistas são buscados primeiramente na região verde dos círculos concêntricos. Caso não sejam encontrados, busca-se na região amarela e, em sequência, caso seja necessário, na região vermelha. Se nenhum taxista for encontrado, o algoritmo coloca o cliente na fila de espera e informa ao cliente sobre a inexistência de táxis para o atendimento a solicitação.

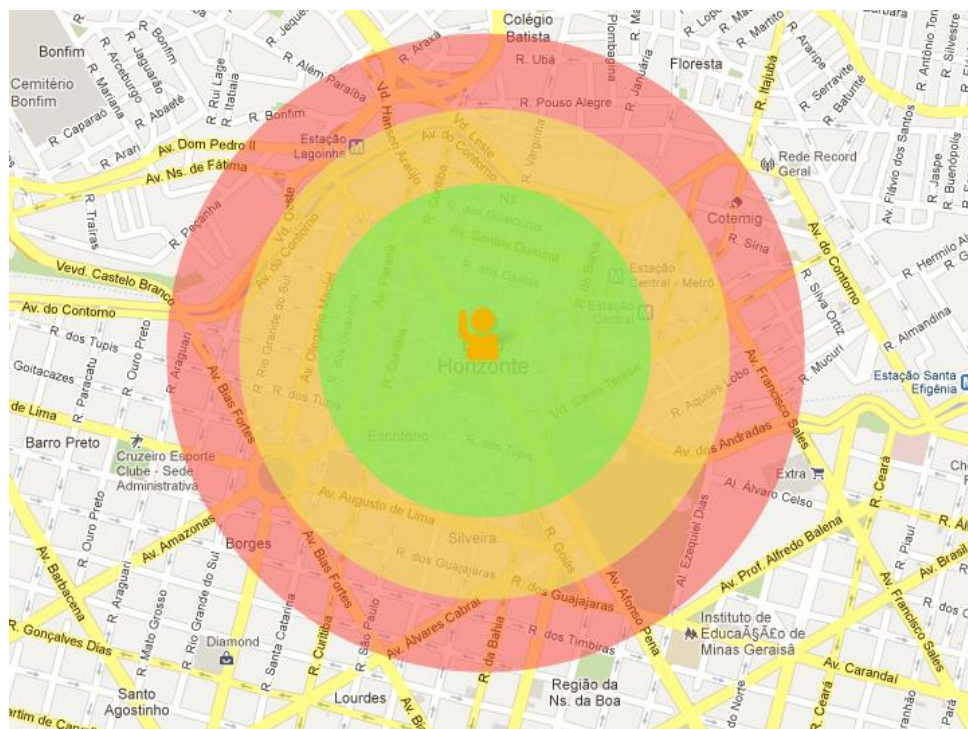


Figura 11: Método para filtro de taxistas avaliados pelo sistema, de acordo a distância até o cliente.

A utilização dos filtros por distância mínima permite que menos taxistas sejam avaliados pelo sistema, diminuindo o custo do processamento. Nos casos de

indisponibilidade de taxista, o sistema aumenta a distância até um número que julga adequado para taxistas e usuários: o taxista não percorre uma distância grande para atender a corrida nem o cliente espera muito tempo pelo serviço.

Para finalizar, o algoritmo filtra os  $N$  taxistas mais próximos ao cliente, caso o número de táxis disponível seja muito alto, a fim de reduzir o processamento. Dentre esses taxistas, aquele com o menor tempo previsto para atendimento será aquele definido como responsável pela requisição.

### **5.3.2 MÉTODO BASEADO EM GPS COM DISTÂNCIA EUCLIDIANA**

O método descrito na seção 5.3.1 utiliza a rota real para estimar a distância entre taxistas e passageiros. No entanto, essa solução tem custo computacional alto, devido a diversas requisições a *web services* externos para avaliação do taxista mais próximo.

Outra possível solução para o problema, com custo computacional reduzido, é a definição do taxista mais próximo ao cliente, baseado apenas na distância Euclidiana. Conforme vimos na seção 5.3.1, a utilização da distância Euclidiana tem como desvantagem a possibilidade de taxistas mais próximos ao cliente, terem que percorrer, em alguns casos, um caminho mais longo para atendimento. Entretanto, devido ao alto custo computacional de processamento da solução anterior e a forma como o trânsito é organizado, pode-se utilizar esse método como alternativo para a escolha do taxista mais próximo, apostando no caso médio.

De modo semelhante ao que ocorre no algoritmo da seção 5.3.1, definimos uma distância máxima, por meio de distância euclidiana, para que um taxista seja

avaliado pelo sistema - taxistas muito longe do cliente são descartados para realizar o atendimento. Dessa forma, caso não seja encontrado um taxista próximo, o cliente será colocado na fila de espera.

### **5.3.3 PROCESSAMENTO DA FILA DE ESPERA**

O modelo de processamento de fila de espera utilizado pelo *software* segue apenas 2 princípios: ordem de entrada na fila de espera e distância entre do cliente até os táxis disponíveis. O método de processamento da fila de espera é o mesmo independente dos algoritmos utilizados para escolha do melhor táxi disponível.

Quando um cliente não pode ser atendido pelo *software* devido à indisponibilidade de taxistas, ele é colocado na fila de espera até que um táxi esteja desocupado para atendê-lo. São dois os motivos para reavaliação da fila de espera:

- a) Um taxista terminou seu atendimento e agora possui status como “Livre”;
- b) Reavaliação periódica dos táxis, devido ao caráter dinâmico do sistema, onde os taxistas movimentam-se pela cidade.

O modelo de avaliação periódica do sistema é utilizado com frequência muito baixa, uma vez que devido a frequente alteração dos estados dos taxistas, há constante processamento da fila de espera, quando há veículos nela.

Ao reprocessar a fila de espera, devido ao término de um atendimento, o sistema utiliza como primeiro critério a região onde o taxista poderá atender aos clientes que estão aguardando por serviços. Para isso, o sistema utiliza o conceito dos círculos de distância vistos na Seção 5.3.1. Em seguida, para os táxis dentro da região de atendimento, o sistema avalia o taxista que primeiro entrou na fila,



utilizando o conceito FIFO (*First In, First Out*), independentemente da distância que ele se encontra do taxista recém liberado.

A utilização da ordem de chegada na fila tem como objetivo permitir que todos os clientes sejam igualmente atendidos, sem que um cliente espere por um tempo muito longo, enquanto outros são passados em sua frente, devido à distância em relação aos táxis desocupados. A escolha desse método evita situações em que um cliente nunca será atendido, devido a sua posição em relação aos táxis.

## 6 TESTES DOS ALGORITMOS DE DESPACHO

Para avaliar o resultado do projeto em relação ao método utilizado atualmente - *broadcasting* - foi proposta uma série de testes de desempenho. Os testes têm como objetivo medir o desempenho dos algoritmos utilizados a fim de minimizar o tempo de espera até o atendimento das requisições.

Para a realização dos testes, foi desenvolvido um ambiente que representa as solicitações dos clientes por serviços de táxi. Nesse ambiente, são colocados os taxistas sobre o mapa de uma cidade e são feitas requisições que simulem a chamada de táxis. O ambiente de testes será descrito com detalhes na Seção 6.2.

### 6.1 SIMULAÇÃO DO MÉTODO *BROADCASTING*

O método *broadcasting*, como dito na Seção 3.1, é aquele utilizado atualmente para escolha do taxista responsável por atender um cliente após o telefonema à central. Nele, o atendente comunica, por rádio, aos taxistas, a localização do passageiro. Um dos taxistas próximos ao cliente confirma que está disponível e é tomado como responsável pelo atendimento.

No método *broadcasting* não há garantias que o taxista mais próximo será o responsável pela requisição, tampouco que o sistema é otimizado para atendimento às solicitações: o taxista que primeiro responde a demanda é aquele que realizará o atendimento. Podemos concluir que a escolha do taxista é realizada, de certa forma, de modo aleatório, uma vez que o primeiro taxista, em uma região próxima ao cliente, que responda ao rádio será designado para atendê-lo.

Para simular essa característica do método *broadcasting*, foi criado um algoritmo que representa esse comportamento. Nele, após a solicitação de um cliente, o algoritmo seleciona um conjunto de taxistas próximos (limitando a distância do mesmo modo que nos algoritmos baseados em GPS) e sorteia um taxista responsável. Através do sorteio, pode-se representar a seleção do taxista que se candidatou para atendimento.

## **6.2 MODELO DE AVALIAÇÃO DOS ALGORITMOS**

### **6.2.1 SOBRE O SIMULADOR**

O mecanismo de simulação desenvolvido para teste das soluções é classificado como Simulação a Eventos Discretos. Nesse tipo de simulador, o sistema somente tem seu valor alterado no momento em que ocorre um evento; em outros momentos, nada se modifica (NOGUEIRA, 2009). Nos simuladores a eventos discretos, há direta ou indiretamente, situações de fila e os eventos processados deixam o sistema (NOGUEIRA, 2009), como ocorre nas situações de requisições de táxi. Esse simulador é adequado ao modelo, uma vez que o evento a ser medido é a solicitação de atendimento e a métrica utilizada é o tempo de espera.

Na literatura, existem *softwares* que realizam a simulação a eventos discretos com distribuição de probabilidade correspondente ao modelo adotado. No entanto, devido à simplicidade da implementação e as características da simulação - distribuição das requisições geradas de forma aleatória, porém com distribuição maior no local definido como centro geográfico do experimento (centro da cidade) - optou-se pela construção de um gerador próprio de requisições.

O gerador construído considera que a probabilidade de ocorrência de um evento em uma área periférica da cidade é inferior à probabilidade na região central. Na prática, apesar de algumas regiões terem maior quantidade de atendimentos, a distribuição não é completamente uniforme, visto que alguns locais, como rodoviárias ou praças de eventos, possuem demanda muito superior por serviços. No entanto, essas características comuns a centros urbanos são complexas de serem modeladas, principalmente quando relacionadas a demanda estocástica por serviços de táxi (CHENG e QU, 2009).

Os taxistas, assim como o gerador de demanda, não foram distribuídos uniformemente pelo mapa. A distribuição dos táxis é realizada do mesmo modo que a geração de demandas, utilizando o mesmo algoritmo, a fim de que a região central do sistema possua maior quantidade de veículos para atender a demanda de veículos. As regiões periféricas têm menos táxis disponíveis, e de acordo com o algoritmo de requisição, menos chamados para atendimento. O sistema através dessas características busca variar a quantidade de taxistas disponíveis para atendimento as requisições, obtendo um modelo mais próximo ao real

A fim de representar de forma mais plausível a dinâmica nos sistemas reais, simula-se também o deslocamento de taxistas pela cidade, de forma a representar o atendimento de requisições. Como o sistema é construído sobre eventos discretos, esses movimentos ocorrem em situações específicas do *software* - logo após o processamento de uma requisição.

Outra característica do simulador é quanto à alteração dos estados dos taxistas. Em uma situação real, é comum que após a solicitação de um táxi, em um ponto da cidade, em um intervalo de tempo próximo, outro cliente desembarque de

outro táxi em outra região. Isso ocorre devido ao número de requisições que são realizadas durante todo o dia e devido à quantidade de taxistas e passageiros no sistema. O simulador, após o evento de processamento de uma requisição, representa essa alteração de estado de alguns taxistas pela cidade, modificando seus estados, para representar o início ou final de uma requisição.

### **6.2.2 CARACTERÍSTICAS DO SIMULADOR**

O simulador tem como característica a manutenção da razão aproximada entre a quantidade de táxis ocupados e o número total de táxis. Com isso, os testes mantêm-se em um estado estacionário, sem tendência ao crescimento ou decrescimento da oferta de taxistas em relação ao número de passageiros.

A manutenção de táxis em um estado estacionário garante que o tempo de espera por serviços mantenha-se uniforme. Essa analogia deriva da relação proposta por Yang e Wong (1998), onde o tempo de espera por táxi é diretamente relacionado à quantidade de horas vagas dos taxistas.

Devemos ainda lembrar que a elasticidade da demanda de serviços é ignorada pelo simulador. Na prática, há variação da quantidade de solicitações devido a dias da semana, condições climáticas, vésperas de feriados, entre outros. Porém, durante a simulação, os testes foram realizados sob condições homogêneas, de modo que não há variação na oferta de serviços. Supõe-se, então, que o algoritmo foi executado fora de um horário de pico e que a quantidade de solicitações nesse horário manteve-se inalterada.

### 6.2.3 ALGORITMO DE SIMULAÇÃO

Como resumo do procedimento utilizado para realização dos testes, é possível descrever todo o procedimento no seguinte algoritmo:

- I. O sistema define um número N de táxis e os coloca de modo aleatório na cidade;
- II. Cerca de metade dos táxis são marcados como ocupados;
- III. Os taxistas movem-se aleatoriamente pela cidade, em eventos discretos sem alterar consideravelmente sua posição atual;
- IV. Alguns taxistas têm seu status alterado de “Ocupado” para “Livre” e vice-versa, simulando o início/final de atendimentos;
- V. O algoritmo de teste simula uma requisição de um passageiro;
- VI. O sistema de despacho de veículos escolhe o melhor taxista de acordo com o algoritmo utilizado.
- VII. O sistema marca o taxista como ocupado, evitando que ele seja responsável por outros atendimentos;
- VIII. Se o número de requisições propostas no teste ainda não tiver sido atingido, o sistema volta ao passo (III). Caso contrário, o sistema contabiliza os tempos médios para atendimento e o tempo de processamento de cada um dos algoritmos, e exibe os resultados no console.

**Algoritmo 1: Mecanismo para simulação de requisições.**

### 6.2.4 MÉTODO DE MEDIDA DE TEMPO ATÉ ATENDIMENTO

Para medir o tempo médio de atendimento, foi utilizado o Google Maps API a fim de estimar o tempo de deslocamento do taxista até o cliente. Essa estimativa será definida como tempo para atendimento. Foram desconsideradas na API do Google

Maps as informações de tráfego, de modo que os testes independem das condições de trânsito.

Para métrica do sistema, quando uma requisição é realizada, o *software* seleciona o taxista responsável pelo atendimento, de acordo com o algoritmo a ser avaliado. O taxista selecionado terá seu tempo estimado pelo sistema, a partir de sua posição até o cliente. O tempo será computado pelo simulador e após um número pré-definido de requisições, o valor total e o valor médio serão medidos.

O objetivo desses testes foi obter o tempo médio de atendimento do modo GPS em relação ao *broadcasting*, usando a estimativa do tempo de atendimento, uma vez que a simulação real do procedimento é considerada, hoje, inviável.

### **6.2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O AMBIENTE DE TESTES**

Para melhor compreensão do ambiente de testes e validação do método criado, indica-se nessa seção situações que foram desconsideradas nos testes e as justificativas para elas. As situações aqui descritas representam implementações que normalmente seriam exigidas para manutenção da robustez do *software*, mas não foram desenvolvidas, devido ao ambiente sob controle dos testes.

Uma das condições que não foi avaliada pelo sistema é a simulação de movimentação linear dos taxistas. Os táxis colocados no sistema movimentam-se de modo completamente aleatório pela cidade. O motivo para que não houvesse preocupação em relação a movimentação dos veículos é devido a realização de requisições em eventos discretos, onde a posição dos veículos que realmente importa é aquela no momento em que o evento ocorre. Desse modo, a

movimentação dos táxis serve para gerar maior nível de aleatoriedade do sistema. No modelo de eventos discretos não é importante o trajeto percorrido pelo taxista e sim sua posição atual no momento em que ocorre a realização de um evento.

Outra característica não avaliada pelo *software* foi a concorrência entre requisições. Em um sistema real, é possível que, ao selecionar um táxi para atendimento ao cliente, o mesmo tenha seu estado alterado concorrentemente, em um instante de tempo semelhante, tornando-se indisponível. Entretanto, essa condição foi desprezada pelos testes.

## 6.3 TESTES DO MODELO

A fim de avaliar os modelos criados, foram elaboradas situações que tentaram reproduzir diferentes condições da busca por táxi nas grandes cidades. Os algoritmos utilizados pelo sistema foram executados sob as mesmas condições em todos os momentos, apesar da aleatoriedade das requisições e da posição geográfica dos taxistas.

Utilizando a mesma condição para todos os algoritmos, garantimos que todos eles têm um mesmo ambiente para escolha do melhor táxi disponível, evitando possíveis situações indesejadas, além da influência de diferentes condições, devido a casualidades, alterando o resultado médio final.

Os resultados dos testes foram submetidos à análise de variância (*One-way ANOVA*) seguida do teste de Tukey, para comparação múltipla das médias. Foi adotado intervalo de confiança de 95%, sendo as diferenças consideradas



significativas quando o valor  $P < 0,05$ . Para análise estatística foi utilizado o *software* Graph Pad Prism (versão 5.01).

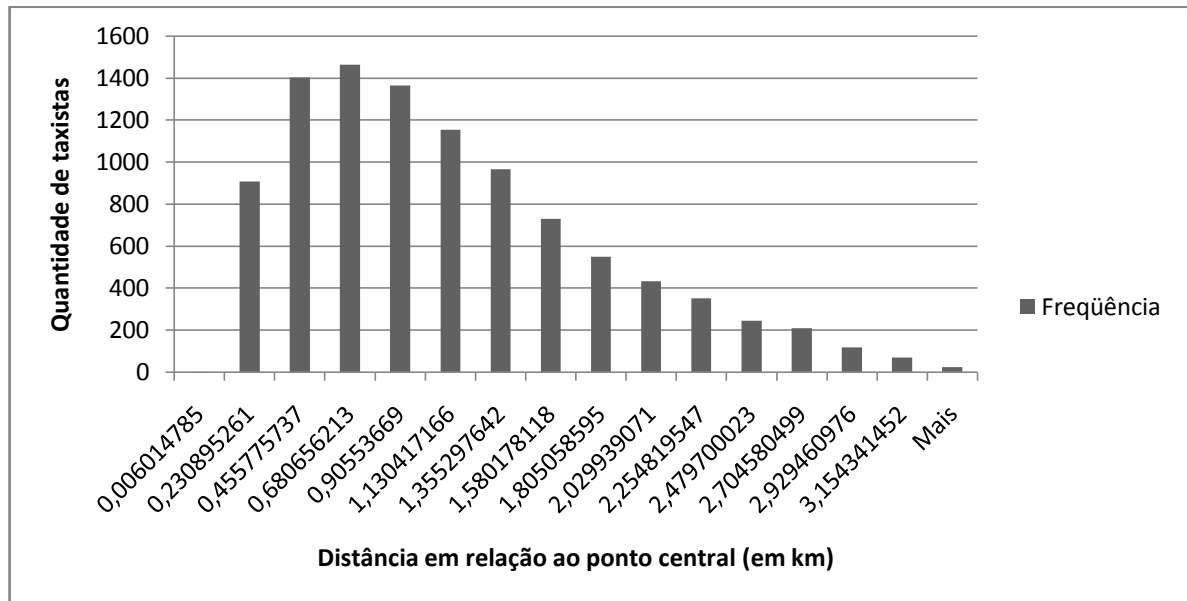
### 6.3.1 CONDIÇÕES PARA OS TESTES

O município de Belo Horizonte foi definido como aquele onde os testes seriam executados, simulando uma condição real. Devido à existência de maior área urbanizada no centro da cidade, com baixo número de grandes áreas verdes e com ampla malha viária, optou-se pela distribuição dos taxistas e das requisições na área central e adjacências.

Além da localização geográfica real de onde os testes foram executados, realizaram-se vários ajustes no modelo, a fim de simular condições próximas às existentes. Foram definidas duas variações de testes, para simular a disponibilidade de taxistas. O método escolhido para alterar a disponibilidade foi a variação da quantidade de táxis, disponíveis em uma mesma área. Com isso houve alteração na quantidade de taxistas por  $\text{km}^2$ , simulando situações de maior oferta de serviços.

Conforme informado na seção 6.2.1, o sistema procurou distribuir maior quantidade de taxistas mais próximos ao ponto central do experimento, deixando a periferia com menor quantidade de veículos. Essa distribuição foi feita com base em um algoritmo próprio de posicionamento aleatório dos taxistas. Apesar do *software* não ter utilizado nenhuma função conhecida para a distribuição de taxistas ao longo da cidade, é possível, através das análises de distância dos taxistas em relação ao ponto central, verificar valores médios obtidos pelo algoritmo, durante um total de  $10^4$  posicionamentos aleatórios, distribuídos em 40 amostras de 250 localizações. O

histograma correspondente as distâncias dos taxistas em relação ao ponto central, pode ser visto, na Figura 12.



**Figura 12: Histograma contendo a distribuição dos taxistas em relação ao ponto central (em 10<sup>4</sup> execuções)**

A partir da avaliação dos pontos gerados, pôde-se iniciar a construção dos testes do sistema, de acordo com as configurações adotadas. As configurações adotadas para os testes, definidas a partir de valores empíricos, estão especificadas abaixo, complementando as informações existentes na seção 6.2:

- Coordenadas do ponto inicial: (-19.918001°, -43.934455°);
- Taxa de ocupação média dos táxis: 50%;
- Probabilidade de táxis a leste do ponto inicial: 50%;
- Probabilidade de táxis a norte do ponto inicial: 50%;
- Números de táxis avaliados nos círculos próximos ao cliente: 7;
- Raios de busca dos círculos: 0,7km, 1,2km e 1,5km;
- Probabilidade de movimentação de um taxista: 90%;
- Probabilidade máxima da alteração do status de um taxista (“Livre” para “Ocupado” ou vice-versa): 10%.

A simulação executou, em cada teste, 30 solicitações de atendimento de táxi, em eventos discretos, conforme especificado no algoritmo da seção 6.2.3 e conforme as condições descritas na seção 6.2.2. O número de testes executados foi de 20 execuções para cada um dos algoritmos, com configuração de quantidade de requisição semelhante, porém com localização de taxistas e clientes diferentes, devido à aleatoriedade das amostras.

Os testes procuraram representar, em escalas reduzidas as condições avaliadas na cidade de Belo Horizonte. Para isso, estimou-se a quantidade de taxistas que circulam na cidade em um determinado horário e sobre ela procedeu-se alterações, de modo a representar as condições encontradas.

A cidade de Belo Horizonte, segundo estimativas da empresa de transporte urbano da cidade, têm em média 60.000 corridas por dia (ESTADO DE MINAS, 2012), com média de 12 corridas por taxista (ESTADO DE MINAS, 2012). Na cidade, existem 5961 táxis cadastrados, que trabalham aproximadamente 13 horas por dia, segundo estimativas (ESTADO DE MINAS, 2013). Como os valores médios não correspondem ao número de taxistas que circulam por dia, a BHTrans, empresa responsável por gerenciar a atividade de táxis em Belo Horizonte, estima que cerca de 1500 taxistas não rodam a cada dia, enquanto que o sindicato estima esse número em 600 veículos (ESTADO DE MINAS, 2013). Realizando uma média, devido à divergência de informações, temos um número de 1050 veículos que não trabalham em um dia.

Para realização dos testes, considerou-se as informações acima, supondo que a distribuição de requisições fosse homogênea durante todo o dia - o que não ocorre na prática. Nessa representação, em um dado instante de tempo haveria

2708 taxistas trabalhando, considerando o número de horas trabalhadas por placa. A área total de Belo Horizonte é de 331,40 km<sup>2</sup> (BHTRANS, 2010). Através dessa informação, podemos definir a existência de um taxista a cada 0,12 km<sup>2</sup>.

Para a construção de um modelo de avaliação, tomou-se um número aproximado de taxistas em uma área restrita da cidade. Em seguida avaliou-se o aumento do número de taxistas, bem como a diminuição da oferta de serviços, em um modelo reduzido. No teste correspondente ao caso médio, definiu-se uma quantidade de 300 táxis em uma área de aproximadamente 34,84 km<sup>2</sup>, com uma taxa média de 8,61 táxis por km<sup>2</sup> ou um táxi a cada 0,12 km<sup>2</sup>.

Em um segundo teste, com menor quantidade de taxistas disponíveis para atendimento a uma requisição, foi colocado no sistema a quantidade de 200 taxistas, sendo cerca de 50% deles estão com status “Livre” para o atendimento a requisições, do mesmo modo que o primeiro teste. Com isso, buscamos restringir a oferta de serviços na cidade, através da quantidade de táxis disponíveis para atendimento.

### 6.3.2 RESULTADOS DOS TESTES

A fim de reduzir o nome dos algoritmos nos gráficos dessa seção, utilizou-se o padrão de nomenclatura descrito na Tabela 2.

	Tempo de Espera	Distância Percorrida	Tempo de Processamento
GPS Estimativa Tempo Mínimo	GPS-T	GPS-D	GPS-P
<i>Broadcasting</i>	BRC-T	BRC-D	BRC-P
GPS Distância Euclidiana	EUC-T	EUC-D	EUC-P

**Tabela 2: Padrão de nomenclatura dos algoritmos para os testes.**

O primeiro resultado obtido pelas execuções é o tempo de espera médio dos clientes até o atendimento de uma requisição, que pode ser visto na Figura 13. A análise estatística de variabilidade das amostras pode ser vista na Tabela 3.

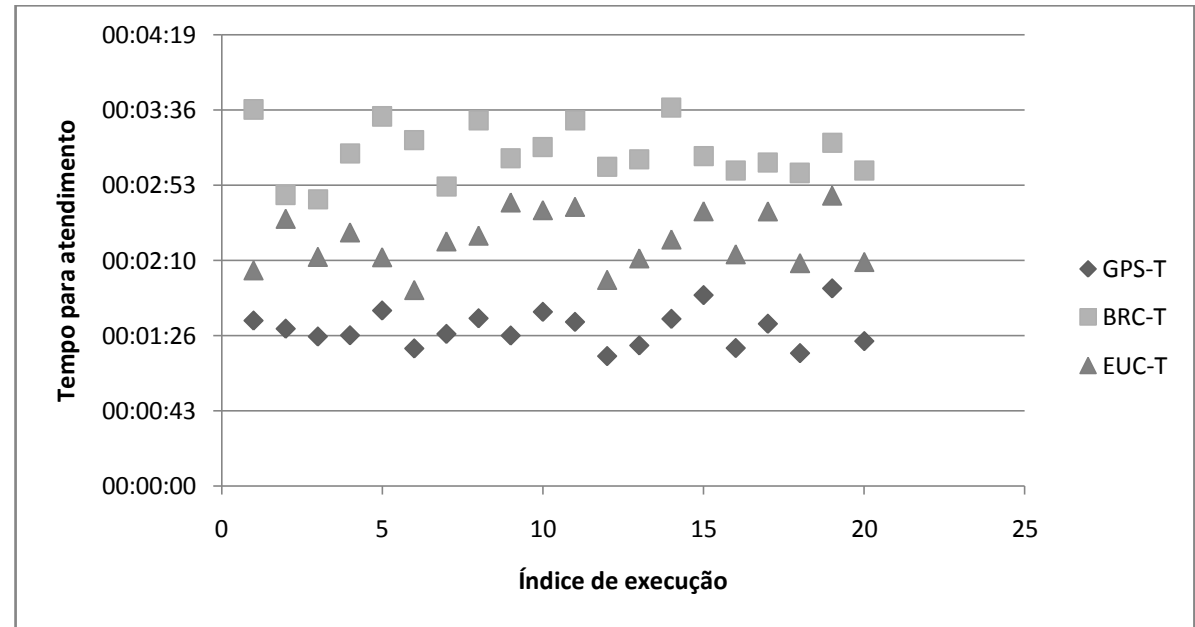


Figura 13: Tempo médio de espera dos clientes nas amostras, por tipo de requisição.

ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	102000	2	51010		
Residual (within columns)	11620	57	203,8		
Total	113600	59			

Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
GPS-TS300 vs BRC-TS300	-101,0	31,64	Yes	***	-111.9 to -90.13
GPS-TS300 vs EUC-TS300	-51,00	15,98	Yes	***	-61.87 to -40.13
BRC-TS300 vs EUC-TS300	50,00	15,66	Yes	***	39.13 to 60.87

Tabela 3: Análise estatística de variabilidade dos testes

O algoritmo GPS com Estimativa do Tempo Mínimo para Atendimento obteve tempo de espera menor, quando comparado aos algoritmos GPS com Distância Euclidiana e *Broadcasting*. Portanto pode-se inferir, de acordo com os testes realizados, que este o algoritmo apresenta menor tempo de espera médio para os clientes. Esses resultados foram obtidos com 95% de confiança e mostram que

existe uma diferença estatisticamente significativa, que favorece o algoritmo GPS com Estimativa do Tempo Mínimo para Atendimento.

As informações correspondentes a distância média percorrida pelos taxistas nas amostras pode ser vista por meio da Figura 14. A análise de variabilidade das amostras pode ser vista na Tabela 4.

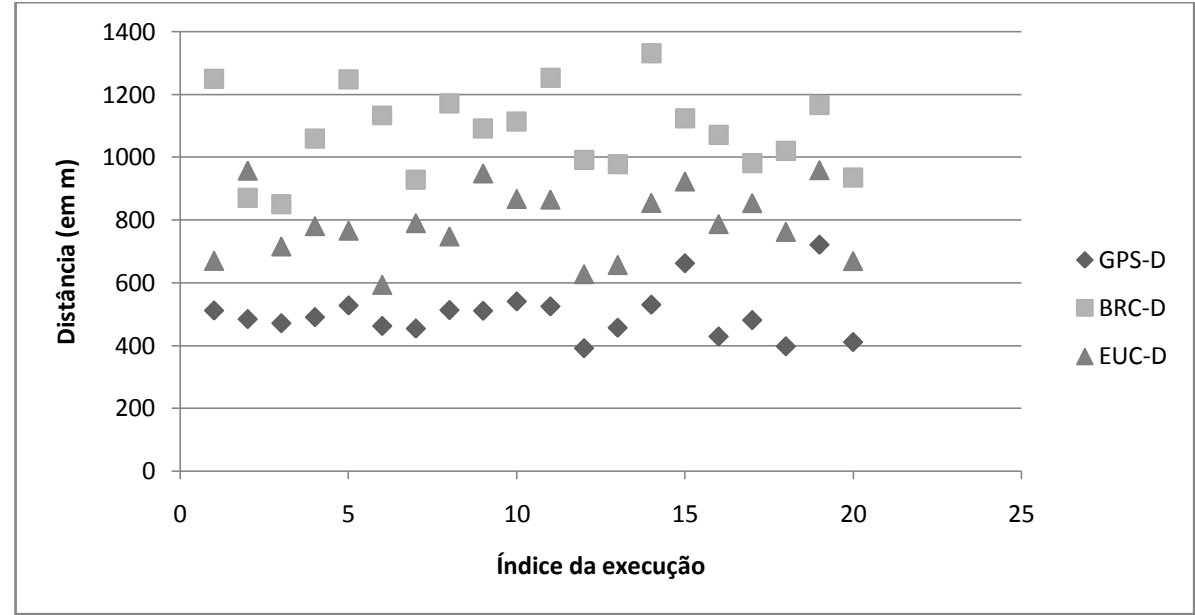


Figura 14: Distância média de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição.

ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	3363000	2	1681000		
Residual (within columns)	706600	57	12400		
Total	4069000	59			

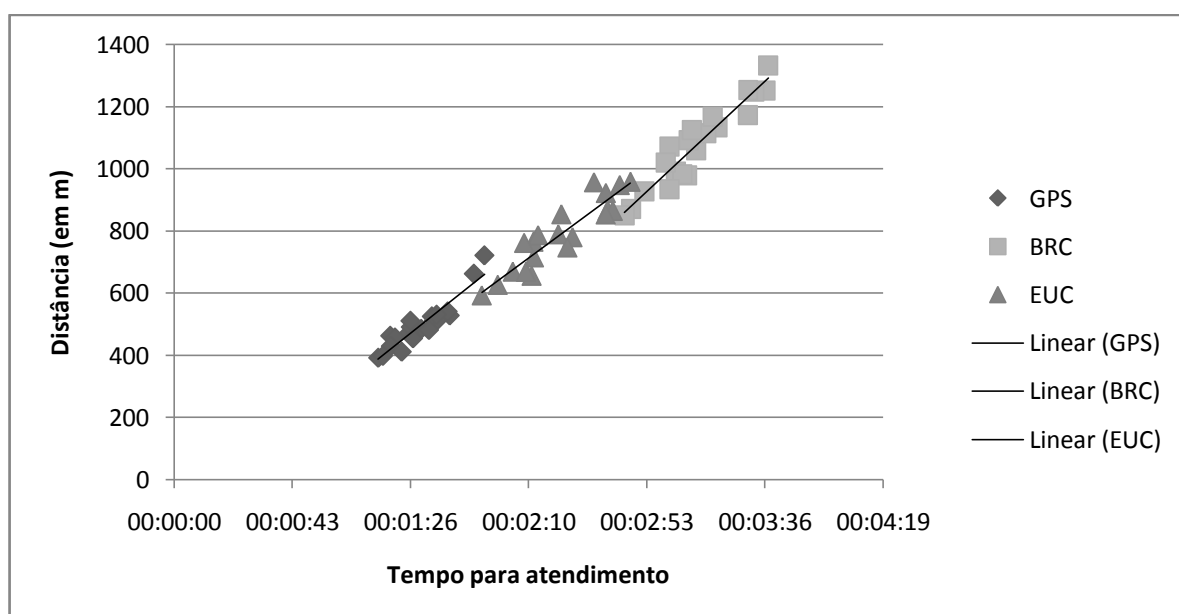
Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
GPS-D vs BRC-D	-579,9	23,29	Yes	***	-664.7 to -495.1
GPS-D vs EUC-D	-290,7	11,68	Yes	***	-375.5 to -205.9
BRC-D vs EUC-D	289,2	11,62	Yes	***	204.4 to 374.0

Tabela 4: Análise estatística de variabilidade dos testes

Pode-se observar, a partir da análise dos dados, que a distância média percorrida pelos taxistas no algoritmo GPS é menor que as distâncias encontradas nos algoritmos EUC e BRC. A Tabela 4 mostra que, assim como na análise do

tempo de atendimento, a diferença entre os algoritmos GPS e BRC é significativamente superior às outras comparações entre algoritmos.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se correlacionar o tempo médio de espera e a distância percorrida pelos taxistas. Como é sabido, o tempo médio para atendimento está relacionado à distância que o taxista deve percorrer até o cliente: quanto mais longe o taxista, maior o tempo que o cliente deverá esperar até ser atendido. Como os testes propostos não consideram trânsito, o que poderia causar variação na distância em relação ao tempo de espera, é possível correlacionar essas duas métricas, conforme vemos na Figura 15.



**Figura 15: Correlação entre o tempo de atendimento e a distância percorrida.**

Por fim, deve-se avaliar o tempo de execução dos algoritmos, para que seja possível medir sua eficiência na busca pelo melhor taxista disponível para atender as requisições. O tempo médio de processamento dos algoritmos pode ser visto na Figura 16.

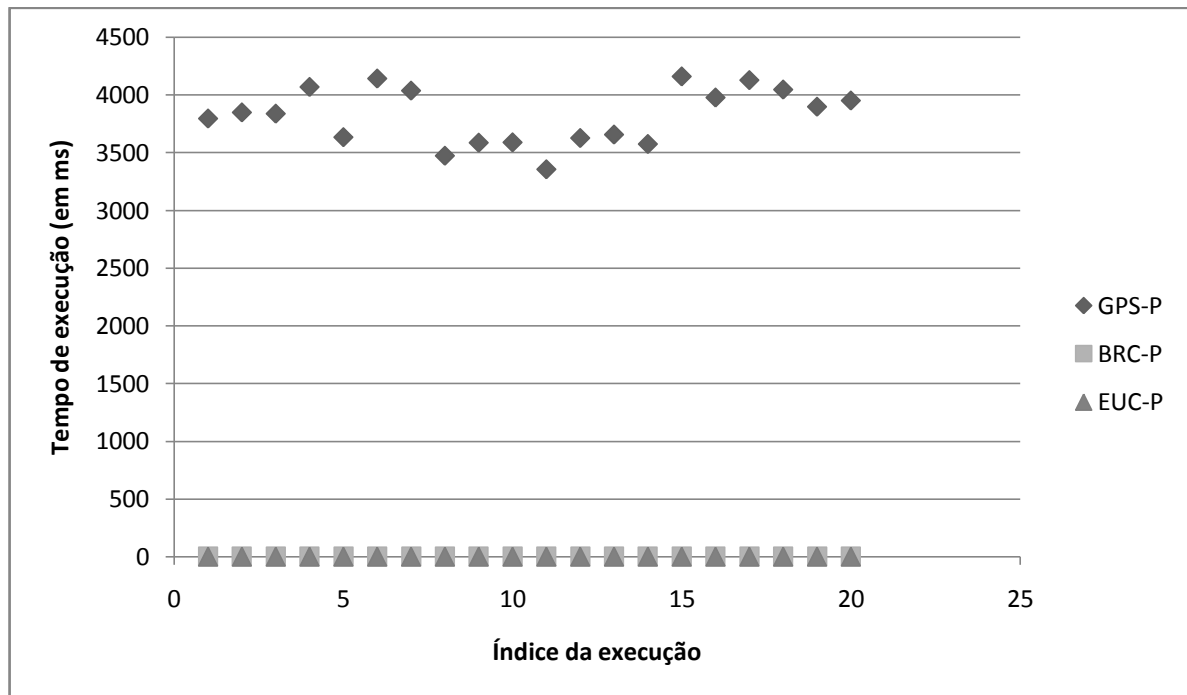


Figura 16: Tempo médio de execução dos algoritmos

ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	194500000	2	97250000		
Residual (within columns)	1137000	57	19950		
Total	195600000	59			

Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
GPS-P vs BRC-P	3819	120,9	Yes	***	3712 to 3927
GPS-P vs EUC-P	3819	120,9	Yes	***	3712 to 3927
BRC-P vs EUC-P	0,06667	0,002111	No	ns	-107.5 to 107.6

Tabela 5: Análise estatística de variabilidade dos testes

A análise dos dados da Figura 16 e da Tabela 5 mostra que os algoritmos GPS com Distância Euclidiana e *Broadcasting* possuem tempo de processamento significativamente inferior aos obtidos na execução do algoritmo GPS com Estimativa do Tempo Mínimo para Atendimento.

Apesar dos valores de processamento do algoritmo GPS serem significativamente superiores aos algoritmos BRC e EUC, pode-se observar que seu valor absoluto é baixo, quando considerado seu uso em uma aplicação real. Devido a características do algoritmo, onde o número de taxistas processados é limitado de



acordo com definições do algoritmo e, levando-se em conta que o maior custo computacional é gasto nas chamadas de *web service*, pode-se dizer que o tempo de processamento manter-se-á estável, mesmo com o aumento do número de taxistas existentes no sistema.

### 6.3.2.1 TESTE II: DIMINUIÇÃO DA OFERTA DE TÁXIS

No segundo teste, buscou-se diminuir a oferta de taxistas em relação à primeira simulação. Para isso, reduziu-se o número de taxistas disponíveis na mesma área da cidade. Nesse segundo experimento, a concentração de táxis foi de 5,74 táxis por  $\text{km}^2$ .

Para avaliar a alteração do desempenho causado pela modificação dos testes, podemos novamente comparar os tempos de atendimento médio entre os algoritmos. O resultado dessa comparação pode ser visto na Figura 17. A análise de variabilidade das amostras pode ser vista na Tabela 6.

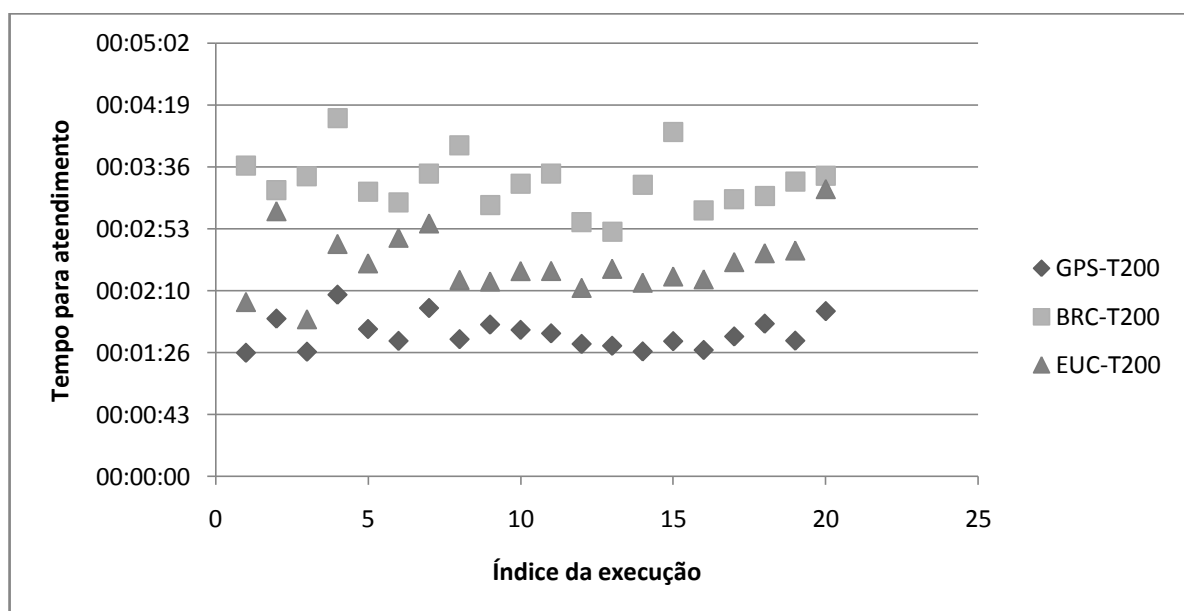


Figura 17: Tempo médio de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição.

ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	110500	2	55240		
Residual (within columns)	18290	57	320,9		
Total	128800	59			

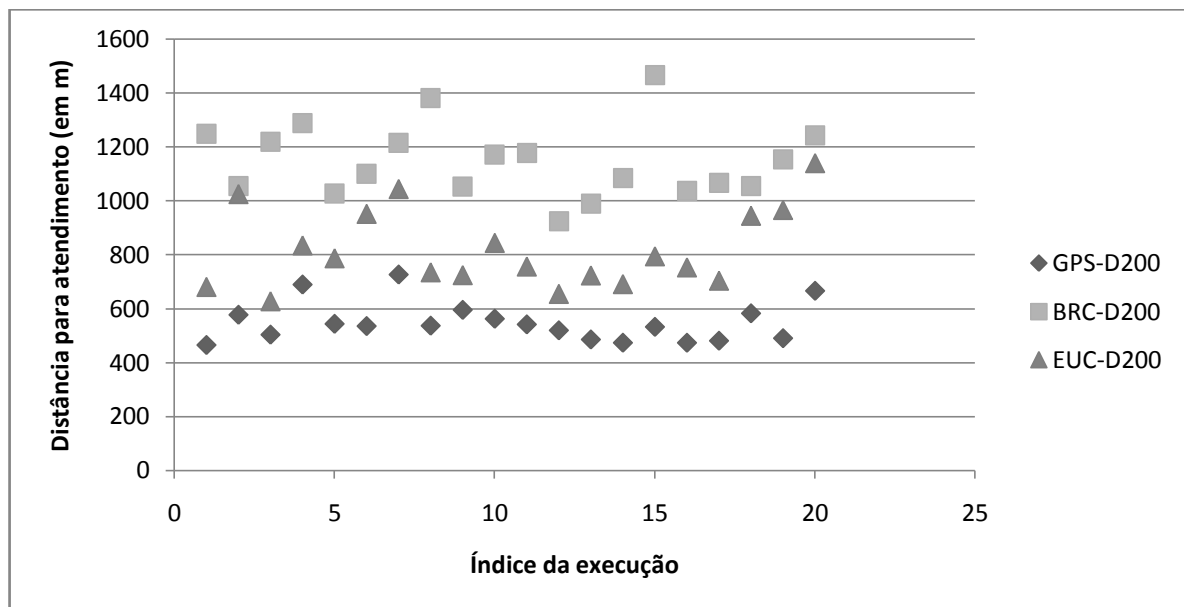
  

Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
GPS-TS200 vs BRC-TS200	-105,1	26,23	Yes	***	-118.7 to -91.41
GPS-TS200 vs EUC-TS200	-49,50	12,36	Yes	***	-63.14 to -35.86
BRC-TS200 vs EUC-TS200	55,55	13,87	Yes	***	41.91 to 69.19

**Tabela 6: Análise estatística de variabilidade dos testes**

No segundo experimento, pode-se observar que, do mesmo modo que o primeiro teste, com 95% de confiança, o algoritmo GPS com Estimativa do Tempo Mínimo para Atendimento demonstrou tempo de espera significativamente menor que os algoritmos GPS com Distância Euclidiana e *Broadcasting*, para o caso médio.

As informações correspondentes a distância média percorrida pelos taxistas em ambos os testes podem ser vista por meio da Figura 18.



**Figura 18: Distância média dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição.**

ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	3595000	2	1798000		
Residual (within columns)	849700	57	14910		
Total	4445000	59			

Tukey's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
GPS-D200 vs BRC-D200	-598,7	21,93	Yes	***	-691.6 to -505.7
GPS-D200 vs EUC-D200	-270,4	9,905	Yes	***	-363.4 to -177.4
BRC-D200 vs EUC-D200	328,3	12,02	Yes	***	235.3 to 421.2

**Tabela 7: Análise estatística de variabilidade dos testes**

Através análise dos dados, observa-se, assim como no primeiro teste, que a distância média percorrida pelos taxistas no algoritmo GPS com Estimativa do Tempo Mínimo para Atendimento é menor que as distâncias encontradas nos algoritmos GPS com Distância Euclidiana e *Broadcasting*.

## 6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fim de avaliar os resultados encontrados, podemos considerar os indicadores de *software* descritos na seção 3.1. Nela são definidas diferentes métricas para aferir a qualidade de um sistema, de acordo como os resultados que ele produz como um bom OFMS (*Order Fleet and Management System*).

Para o modelo de *software* aqui avaliado, o tempo de resposta bem como a melhoria no atendimento a um usuário é o fator decisivo na escolha do melhor algoritmo. Um *software* que demore a responder a uma requisição poderá comprometer o resultado final, uma vez que um taxista poderá se deslocar pela cidade, alterando aquele que seria o melhor veículo responsável por uma requisição. Além disso, apesar da situação ter sido desconsiderada nos testes, em casos onde a demora de execução é significativa, há aumento da probabilidade do taxista

atender a solicitação de um cliente que está na rua, sob a condição do método *random-search*, onde taxistas e clientes se buscam aleatoriamente, ficando indisponível.

Usando os resultados obtidos tanto para o método GPS com Menor Tempo Estimado de Atendimento quanto o método GPS com Distância Euclidiana em ambos os testes, podemos verificar que houve diminuição do tempo de atendimento em pelo menos 20% em relação ao método *broadcasting*. Desse modo atingiu-se o objetivo do *software*, de redução do tempo de espera por taxistas.

A partir de uma avaliação mais cuidadosa, é possível constatar que a diminuição média no primeiro teste, obtida para o método GPS com Menor Tempo Estimado de Atendimento foi de 52,8%, enquanto que o método GPS com Distância Euclidiana obteve redução média de 26,1% em relação ao método *broadcasting*, quando utilizado o valor médio obtido nas amostras.

Conforme podemos ver nos testes, há variação dos resultados de acordo com a disponibilidade de táxi no sistema. No teste onde há menor disponibilidade por serviços, os resultados do *software* mostraram-se mais elevados que aqueles onde há maior disponibilidade, sendo que a variação média para o método com Distância Euclidiana foi de 51,3%, enquanto que no método com Menor Tempo Estimado de Atendimento foi de 27,1%.

De acordo com os resultados, pode-se observar que existe uma relação direta entre a distância percorrida pelo taxista e o tempo de espera do passageiro. Em todos os testes apresentados, independente das variações realizadas, observou-se essa característica.

Deve-se lembrar que a interdependência entre a distância percorrida pelo taxista e o tempo de espera mostra-se uniforme, pois não foram consideradas informações de trânsito nos testes. Em uma situação real, as informações de trânsito causariam modificações relevantes nos resultados encontrados, pois uma rota mais rápida poderia ser maior, quando considerada a velocidade da via no momento.

Em situações de retenções isoladas, a velocidade das vias congestionadas, quando consideradas as informações de trânsito, teria seu valor alterado sensivelmente. No entanto, quando há baixa velocidade em toda a cidade, como horários de pico, há uma diminuição geral da velocidade de todas as rotas e não se pode afirmar que os ganhos de alteração de rota sejam justificados em todos os casos. Com isso, nessas situações de pico, há possibilidade de que exista a manutenção da distância como fator de relação direta para o tempo de atendimento.

Através dos resultados, pode-se verificar que o tempo de execução do algoritmo de GPS com Distância Euclidiana é bastante semelhante ao algoritmo *broadcasting*, com valor desprezível. O tempo de execução do algoritmo GPS com Estimativa do Menor Tempo de Execução é, por sua vez, muito mais demorado que os anteriores, com tempo de resposta médio em 3,8s.

Ao analisar os resultados dos testes de GPS em relação ao método *broadcasting*, deve-se adotar cautela na avaliação do último. Como é sabido, o método *broadcasting* parte da interação entre taxistas e atendentes da central telefônica, não sendo executado nenhum algoritmo. Pode-se estimar que os contatos por rádio entre taxistas e atendentes gastam um tempo maior que os 3,8 segundos necessários para o processamento do método GPS com Menor Tempo Estimado. Desse modo, apesar do resultado ser lento em relação ao método com

Distância Euclidiana, os valores estão dentro de uma faixa aceitável de espera. Considerando que um veículo move-se em velocidade máxima de 60km/h nas ruas da cidade, a distância máxima que o veículo terá se deslocado em relação à posição original é de 63,3m, quando considerado apenas o tempo médio de resposta do sistema.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução proposta vai em direção a uma tendência mundial de utilização de dispositivos móveis, cada vez mais presente no cotidiano dos cidadãos nas grandes cidades. O *software* desenvolvido nesse trabalho possibilitou a realização de todo fluxo de solicitação de táxi, de modo simplificado, o que possibilita seu uso em situações reais.

O sistema construído utiliza dispositivos móveis para aproximar taxistas e passageiros, permitindo a solicitação de serviços, independentemente do local onde se encontram. Ao optar por fornecer serviços também para dispositivos *desktops*, a solução buscou abranger um maior número de usuários, pois apesar do crescimento do uso de dispositivos móveis, esse número ainda é bem menor que a utilização de computadores pessoais ou *workstations*.

A partir da solução apresentada, constatou-se a melhora do tempo até o atendimento, o que indica uma tendência a resultados bem sucedidos na prática. Além disso, o trabalho indicou numericamente a existência da melhoria dos serviços, quando utilizados métodos de avaliação GPS em relação ao método *broadcasting*, como era previsto, de acordo com Xu, Yuan, *et al.* (2005).

Ao melhorar o tempo de espera por serviços e indicar a correlação entre a distância percorrida e o tempo para atendimento, podemos indicar um possível aumento da eficiência nos atendimentos de táxi. Pode-se inferir também que haverá redução da quantidade de quilômetros percorridos pelos taxistas até o atendimento de uma requisição, tornando o trajeto mais econômico para o taxista.

A análise de tempo de processamento computacional das soluções indica que os algoritmos desenvolvidos possuem baixo tempo de resposta. Devido as suas características, bem como os tempos de processamentos encontrados nas simulações, pode-se afirmar que as soluções apresentadas têm viabilidade prática, quanto ao tempo de resposta do sistema.

Apesar das limitações do modelo de simulação, devido à dificuldade de reproduzir ambientes reais e suas particularidades, podemos indicar que a solução apresentada mostra uma melhora na eficiência dos serviços de táxis para o caso médio. A solução proposta no projeto contribui para melhorar um serviço tido como ineficiente, devido ao número de horas desperdiçadas sem passageiros e sua forma de organização atual.

Em trabalhos futuros é possível melhorar os modelos criados, tornando-os mais próximos a realidade e considerar diferentes condições de ambiente a fim de produzir resultados mais precisos. Como já informado na seção 3.1, a avaliação de fatores externos ao fluxo de táxi, como chuvas ou eventos, podem ser utilizados pelo algoritmo de modo a melhorar o resultado final da aplicação. Além disso, é possível verificar o comportamento do tráfego em dias normais e preparar o algoritmo para considerar o horário, entre outras condições, como fator importante na definição do melhor táxi, de modo a diminuir o tempo de atendimento.

Através de melhorias no sistema, será possível, além do conhecimento da posição de taxistas, oferecer outros serviços como estatísticas e o monitoramento das condições de trânsito, uma vez que os táxis estão distribuídos pela cidade e podem fornecer informações como a velocidade média das vias, contribuindo para melhoria dos serviços de trânsito nas grandes cidades.



## REFERÊNCIAS

AVRAM, A.; MARINESCU, F. Domain Driven Design Quickly, 2006. ISSN ISBN: 978-1-4116-0925-9. Disponível em: <<http://sosa.ucsd.edu/teaching/cse294/fall2007/dddbook.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

BHTRANS. Principais indicadores e variáveis populacionais da RMBH (2010). **BHTrans**, 2010. Disponível em: <[http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublicodl/Estat%C3%ADsticas%20e%20Publica%C3%A7%C3%B5es/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico/indicadores\\_mobilidade/Tabelas1\\_Pop\\_Area\\_Dens\\_ComPopAlterada-Tab1a%20240113.pdf](http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublicodl/Estat%C3%ADsticas%20e%20Publica%C3%A7%C3%B5es/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico/indicadores_mobilidade/Tabelas1_Pop_Area_Dens_ComPopAlterada-Tab1a%20240113.pdf)>. Acesso em: 13 mar. 2013.

BRASIL. Lei nº 11.715, de 19 de Junho de 2008. **Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos**, 2008.

CASTELLO BRANCO, A. Demora no atendimento de táxi em BH leva 15% dos passageiros a cancelar pedido. **EM.COM.BR - Estado de Minas**, 12 jun. 2012. Disponível em: <[http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/06/12/interna\\_gerais,299515/demora-no-atendimento-de-taxi-em-bh-leva-15-dos-passageiros-a-cancelar-pedido.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/06/12/interna_gerais,299515/demora-no-atendimento-de-taxi-em-bh-leva-15-dos-passageiros-a-cancelar-pedido.shtml)>. Acesso em: 16 jun. 2012.

CHENG, S.; QU, X. A Service Choice Model for Optimizing Taxi Service Delivery. **Research Collection School of Information Systems**, v. 209, 2009.

COSTA, D. O táxi sumiu? **Revista Encontro**, 2011. ISSN Edição 123. Disponível em: <http://www.revistaencontro.com.br/revista/edicao/123/cidade/o-taxi-sumiu.html>>. Acesso em: 20 out. 2012.

DE LA TORRE, C. Our brand-new 'DDD N-Layered.NET 4.0 Architecture Guide' book and Sample-App in CODEPLEX. **Cesar de la Torre [Microsoft] - BLOG**, 2010. Disponível em: <http://blogs.msdn.com/b/cesardelatorre/archive/2010/03/26/our-brand-new-ddd-n-layer-net-4-0-architecture-guide-book-and-sample-app-in-codeplex.aspx>>. Acesso em: 09 abr. 2013.

DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA - UFPR. Estatística II (Notas de Aula). Curitiba: [s.n.], 2009. p. 112-121.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - USP. Objetivos da Pesquisa. **Sistema Galileu de Educação Estatística**, 2012. Disponível em: [http://www.galileu.esalq.usp.br/mostra\\_topico.php?cod=128](http://www.galileu.esalq.usp.br/mostra_topico.php?cod=128)>. Acesso em: 20 out. 2012.

ESTADO DE MINAS. Estatística da BHTrans indica 60 mil viagens de táxi por dia, número considerado baixo. **EM.COM.BR**, 2012. Disponível em: [http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/04/30/interna\\_gerais,291669/estatistica-da-bhtrans-indica-60-mil-viagens-de-taxi-por-dia-numero-considerado-baixo.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/04/30/interna_gerais,291669/estatistica-da-bhtrans-indica-60-mil-viagens-de-taxi-por-dia-numero-considerado-baixo.shtml)>. Acesso em: 01 mar. 2013.

ESTADO DE MINAS. BHTrans fecha o cerco ao táxi ocioso. **EM.COM.BR**, 2013. Disponível em: [http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/02/15/interna\\_gerais,350571/bhtrans-fecha-o-cerco-ao-taxi-ocioso.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/02/15/interna_gerais,350571/bhtrans-fecha-o-cerco-ao-taxi-ocioso.shtml)>. Acesso em: 13 mar. 2013.

FLEISCHMANN, B.; GNUTZMANN, S.; SANDVOß, E. Dynamic Vehicle Routing Based on Online Traffic Information. **Transportation Science**, v. 38, n. 4, p. 420-433, nov. 2004. ISSN 0041-1655.

IBGE. Contas Regionais do Brasil 2005-2009. 2009. Tabela 8 - Produto Interno Bruto, população residente e Produto Interno Bruto per capita, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 2009. **IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, p. 27, 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasregionais/2009/contasregionais2009.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2012.

IETF. A UUID URN Namespace. **The Internet Engineering Task Force (IETF)**, 2005 jul. 2005. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc4122.txt>>. Acesso em: 13 mar. 2013.

JIANG, B.; YAO, X. Location-based services and GIS in perspective. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 30, n. 6, p. 712–725, November 2006.

LIAO, Z. Taxi Dispatching via Global Positioning Systems. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 48, n. 3, ago. 2001.

LIAO, Z. Real-Time Taxi Dispatching Using Global Positioning Systems. **Communications of ACM**, v. 46, n. 5, maio 2009.

LIN, W.-H.; ZENG, J. An experimental study on real-time bus arrival – Time prediction with GPS data. **Transportation Research Record**, n. 1666, p. 101-109, 1999. ISSN ISSN: 0361-1981, ISBN 0309070619.

LOPES, V. Corrida de táxi será monitorada em BH. **EM.COM.BR - Estado de Minas**, 11 jan. 2012. Disponível em: 75

<[http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/01/11/interna\\_gerais,271694/corrída-de-taxi-sera-monitorada-em-bh.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/01/11/interna_gerais,271694/corrída-de-taxi-sera-monitorada-em-bh.shtml)>. Acesso em: 17 mar. 2012.

MACEDO, D. Brasil tem 58 milhões de acesso à banda larga. **Agência Brasil**, 21 jan. 2012. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2012-01-21/brasil-tem-58-milhoes-de-acessos-banda-larga>>. Acesso em: 17 mar. 2012.

MICROSOFT. GUID structure (Windows). **Microsoft Developer Network**, 2012. Disponível em: <[http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/windows/desktop/aa373931\(v=vs.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/windows/desktop/aa373931(v=vs.85).aspx)>. Acesso em: 13 mar. 2013.

MORTARIE, R.; EUZÉBIO, G. L. O custo do caos. **IPEA – Desafios do Desenvolvimento – A revista de informações e debates do IPEA.**, 2009. Disponível em: <[http://desafios2.ipea.gov.br/003/00301009.jsp?ttCD\\_CHAVE=11522](http://desafios2.ipea.gov.br/003/00301009.jsp?ttCD_CHAVE=11522)>. Acesso em: 18 mar. 2012.

NOGUEIRA, F. Simulação a Eventos Discretos, 2009. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/epd042/files/2009/02/Simulacao1.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2013.

OLIVEIRA, J. Lei Seca aumenta demanda em até 20% e faz táxi virar artigo de luxo na noite de BH. **EM.COM.BR - Estado de Minas**, 13 ago. 2011. Disponível em: <[http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2011/08/13/interna\\_gerais,244915/lei-seca-aumenta-demanda-em-ate-20-e-faz-taxi-virar-artigo-de-luxo-na-noite-de-bh.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2011/08/13/interna_gerais,244915/lei-seca-aumenta-demanda-em-ate-20-e-faz-taxi-virar-artigo-de-luxo-na-noite-de-bh.shtml)>. Acesso em: 16 jun. 2012.

OLIVEIRA, J. PBH autoriza licitação de 562 novas placas de táxi. **EM.COM.BR - Estado de Minas**, 21 fev. 2012. Disponível em:

<[http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/02/21/interna\\_gerais,279175/pbh-autoriza-licitacao-de-562-novas-placas-de-taxi.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/02/21/interna_gerais,279175/pbh-autoriza-licitacao-de-562-novas-placas-de-taxi.shtml)>. Acesso em: 02 jun. 2012.

RAO, B.; MINAKAKIS, L. Evolution of Mobile Location-based Services. **Communications of the ACM - Mobile computing opportunities and challenges**, New York, NY, USA, v. 46 , n. 12, p. 61 - 65, December 2003. ISSN 0001-0782.

SCOFIELD, T. Analysis of Variance (ANOVA), 2012. Disponível em: <<http://www.calvin.edu/~scofield/courses/m145/materials/handouts/anova.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2013.

SOARES, M. D. S. Comparação entre Metodologias Ágeis e Tradicionais para o Desenvolvimento de Software. **BDB Comp - Biblioteca Digital Brasileira de Computação**, 2004. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/bdbcomp/servlet/Trabalho?id=5350>>. Acesso em: 23 jun. 2012.

TAUCHEN, J. Metodologia de Pesquisa - Como classificar as pesquisas, 2009. Disponível em: <[http://www.joel.pro.br/aulas/metodologia/classifica\\_pesquisas.pdf](http://www.joel.pro.br/aulas/metodologia/classifica_pesquisas.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2012.

TERRA S.A. SP aumenta em 1,2 mil nº de taxistas para suprir demanda. **Terra Networks Brasil S.A.**, 17 dez. 2011. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/brasil/transito/noticias/0,OI5523095-EI998,00-SP+aumenta+em+mil+n+de+taxistas+para+suprir+demand.html>>. Acesso em: 16 jun. 2012.

WIKIPEDIA. Scrum. **Wikipedia, The Free Encyclopedia**, 2012. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Scrum>>. Acesso em: 23 jun. 2012.

WONG, K. I.; WONG, S. C.; YANG, H. Modeling urban taxi services in congested road network with elastic demand. **Transportation Research Part B**, n. 35, p. 819-842, 2001.

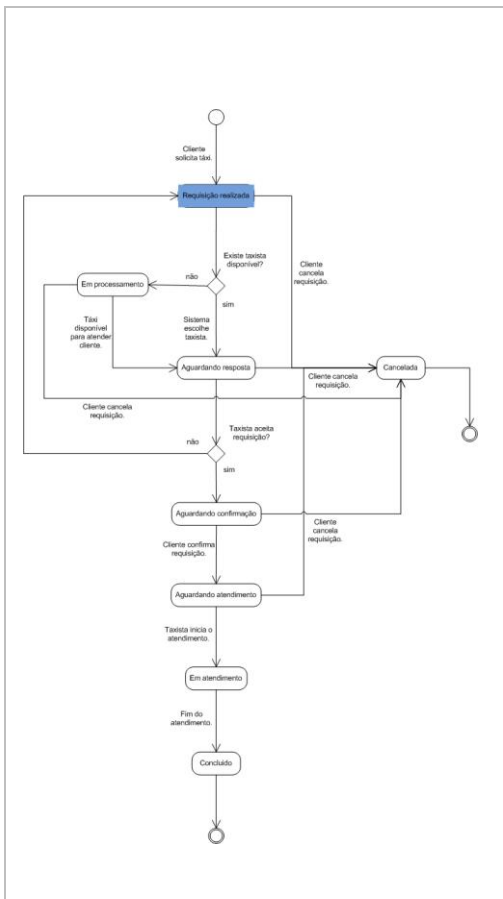
XU, Z. et al. Investigating the Value of Location Information in Taxi Dispatching Services: A case study of DaZhong Taxi. **PACIS 2005 Proceedings**, v. 111, 2005.

YANG, H.; WONG, S. C. A Network Model of Urban Taxi Services. **Transport Research Board-B**, v. 32, n. 4, p. 235-246, 1998.

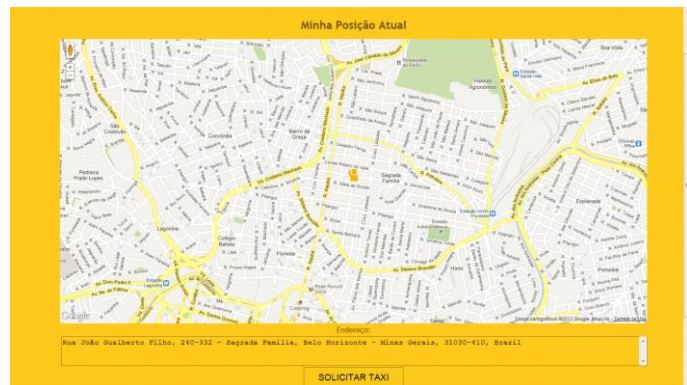
# GLOSSÁRIO

A-GPS	GPS Assistido (versão aprimorada do GPS, por meio de suporte utilizando conexão de dados).
ANOVA	Análise de variância.
API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicativos).
App	Aplicativo móvel.
Broadcasting	Método de transmissão de informação, no qual a mensagem é enviada a muitos receptores de uma só vez.
DDD	<i>Domain-Driven Design</i> (Desenvolvimento Orientado a Domínio).
FIFO	<i>First-In, First-Out</i> (Primeiro a entrar, primeiro a sair).
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global).
Guid	<i>Globally Unique Identifier</i> (Identificador Único Global).
HTML5	<i>Hypertext Markup Language</i> , versão 5.
LBS	<i>Location-Based Service</i> (Serviço Baseado em Localização).
NHibernate	Solução de Mapeamento Objeto-Relacional (ORM) para desenvolvimento na plataforma Microsoft .NET.
OFMS	<i>Order Fleet and Management System</i> (Sistema de gerência e ordenação de frota).
One-way ANOVA	Análise de variância simples.
Product Backlog (Scrum)	Lista de itens a serem desenvolvidos no sistema.
Product Owner (Scrum)	Responsável pela gerência do <i>Product Backlog</i> e definição de prioridades dos itens para as <i>Sprints</i> .
Scrum	Processo de desenvolvimento iterativo e incremental, em um desenvolvimento ágil de <i>software</i> .
Sprint (Scrum)	Unidade básica do desenvolvimento do Scrum, com duração constante entre 7 e 30 dias, dentro da caixa de tempo ( <i>time-box</i> ) da metodologia.
UML	<i>Unified Modeling Language</i> .

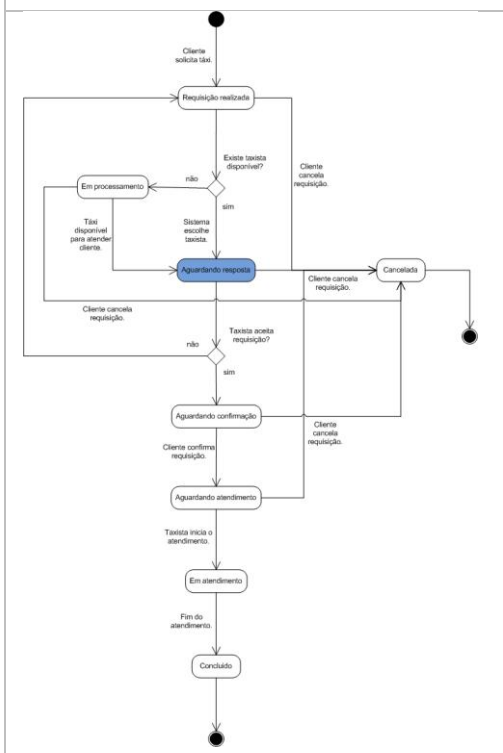
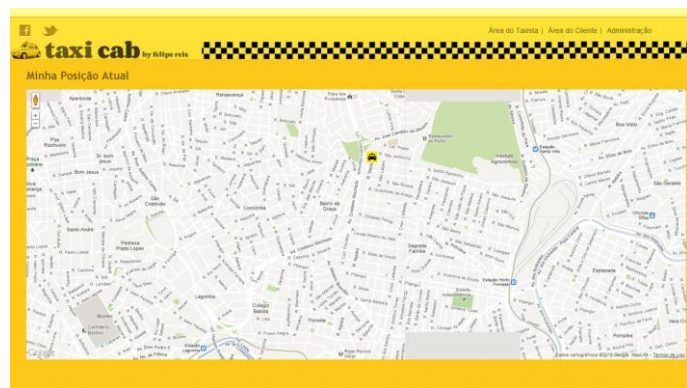
# APÊNDICE A - FLUXO DE REQUISIÇÃO DE TÁXI



Cliente



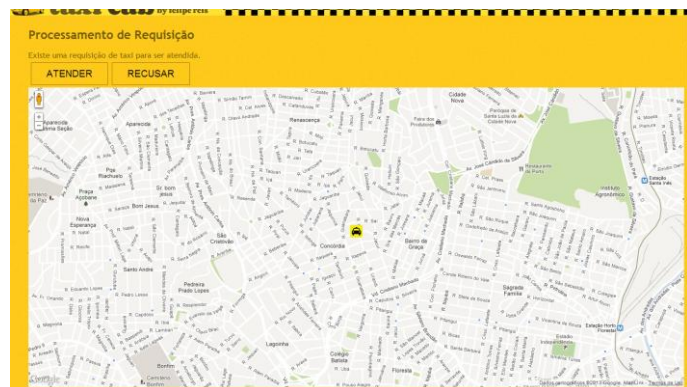
Taxista



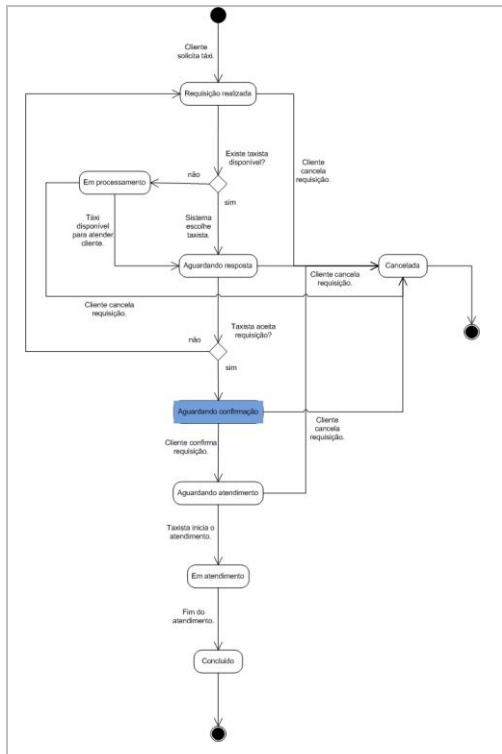
Cliente



Taxista



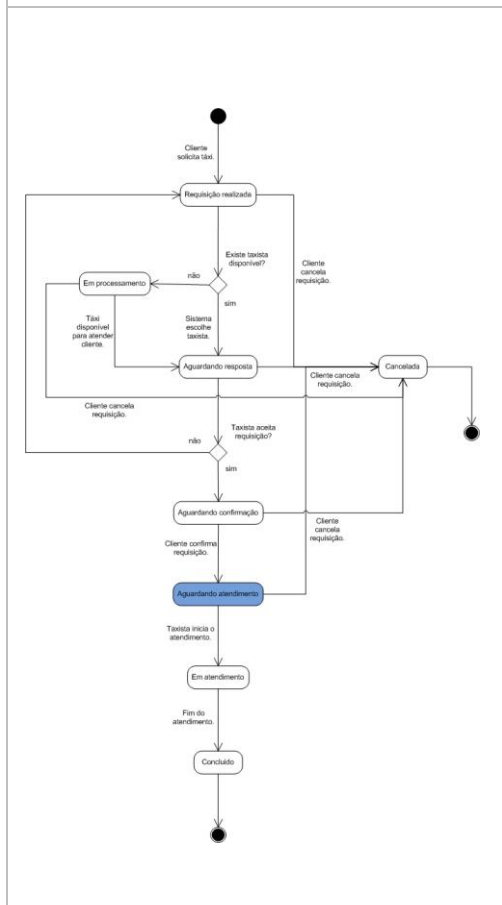
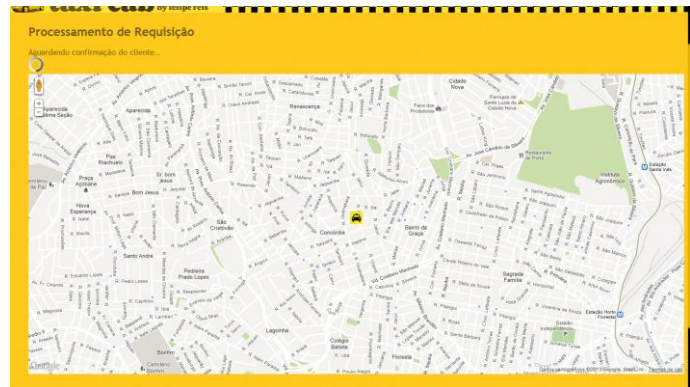




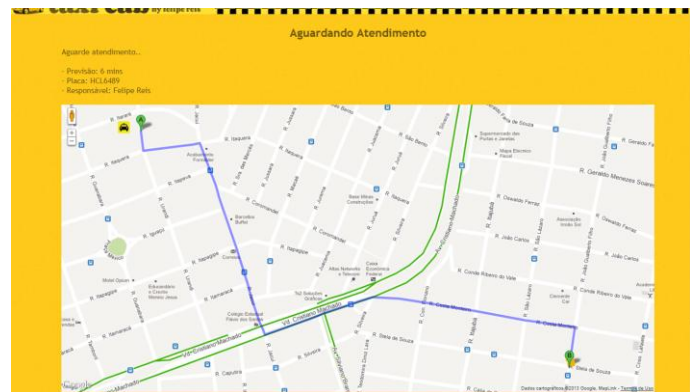
## Cliente



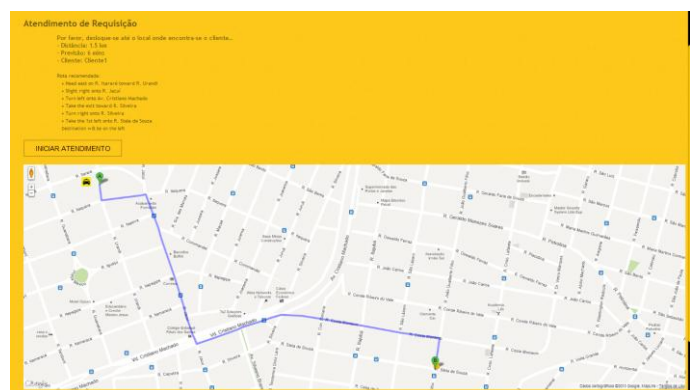
## Taxista

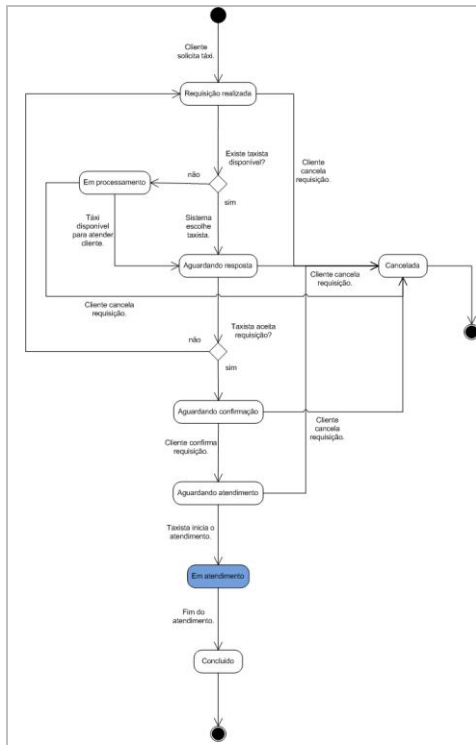


## Cliente



## Taxista

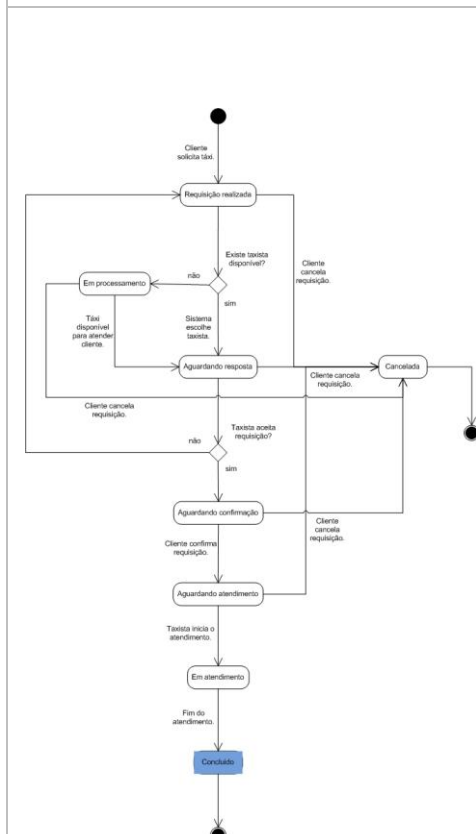
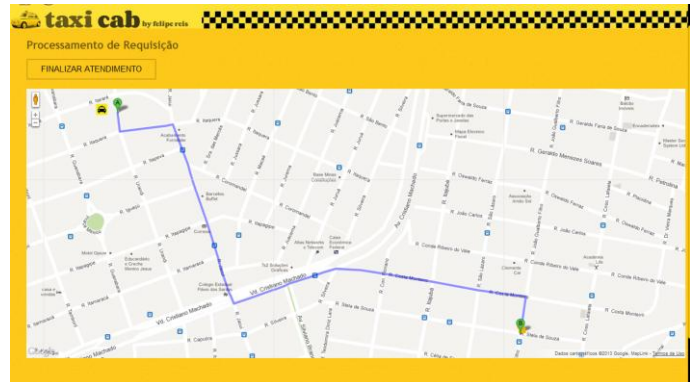




## Cliente



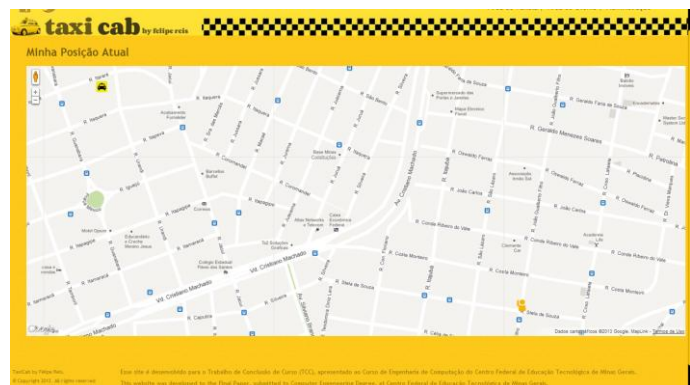
## Taxista

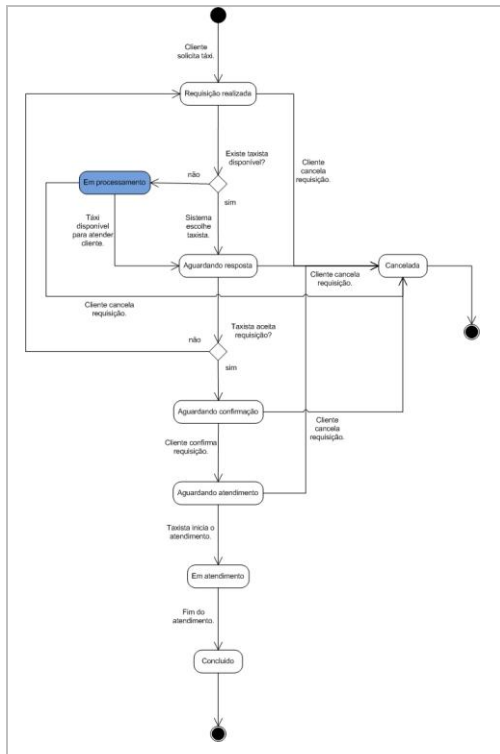


## Cliente



## Taxista

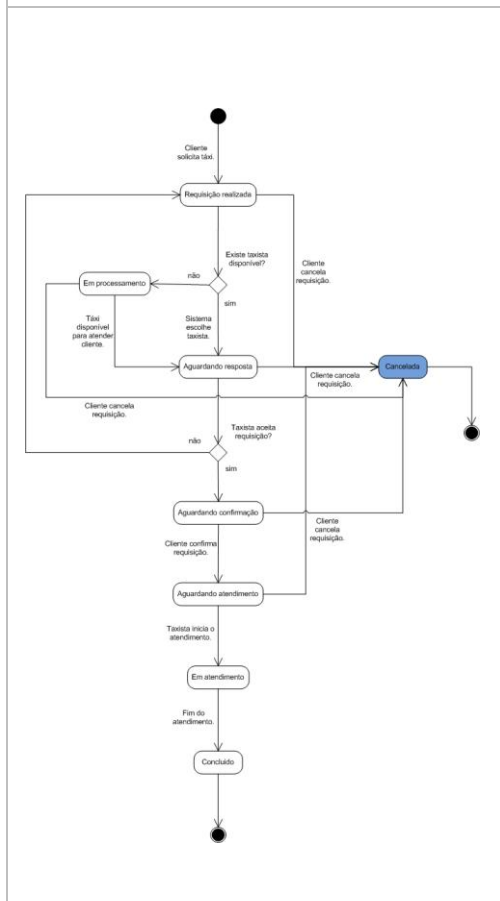




## Cliente



## Taxista



## Cliente



## Taxista

