

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

**FELIPE AUGUSTO LIMA REIS**

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

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 TAXIS**

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 para a realização dessa jornada.

A Leidi, pelo amor e apoio em momentos difíceis.

Ao professor Marconi de Arruda Pereira, pela confiança, participação 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

Taxi 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 e ao aumento da demanda. Além disso, o funcionamento dos sistemas de taxi, em geral, é pouco satisfatório quanto à sua eficiência operacional, devido a sua própria organização – solicitações agendadas através de ligações telefônicas e atendimento a usuários que estão nas ruas ou pontos de taxi.

Uma nova solução para aumento da eficiência operacional dos sistemas de taxi 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 taxi 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 para o despacho de veículos, foi avaliada em relação ao método *broadcasting* – modo atual de escolha dos taxis após uma requisição a uma central telefônica.

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

SUMÁRIO

[RESUMO 4](#_Toc350991061)

[SUMÁRIO 5](#_Toc350991062)

[LISTA DE FIGURAS 8](#_Toc350991063)

[LISTA DE TABELAS 10](#_Toc350991064)

[1 INTRODUÇÃO 11](#_Toc350991065)

[2 OBJETIVOS 16](#_Toc350991066)

[2.1 OBJETIVO GERAL 16](#_Toc350991067)

[2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16](#_Toc350991068)

[3 REFERENCIAL TEÓRICO 17](#_Toc350991069)

[3.1 SERVIÇOS BASEADOS EM LOCALIZAÇÃO 17](#_Toc350991070)

[3.2 ESTUDOS DE CASO 22](#_Toc350991071)

[4 MÉTODO 27](#_Toc350991072)

[4.1 TIPO DE PESQUISA 27](#_Toc350991073)

[4.2 METODOLOGIA 28](#_Toc350991074)

[5 RESULTADOS 29](#_Toc350991075)

[5.1 VISÃO GERAL DO SOFTWARE 29](#_Toc350991076)

[5.1.1 RECURSOS DO SOFTWARE 29](#_Toc350991077)

[5.1.2 FLUXO DE ATENDIMENTO DE SOLICITAÇÃO DE TAXI 32](#_Toc350991078)

[5.2 ARQUITETURA DO SOFTWARE 37](#_Toc350991079)

[5.2.1 APRESENTAÇÃO 38](#_Toc350991080)

[5.2.2 RECURSOS E COMPONENTES DO SERVIDOR 39](#_Toc350991081)

[5.2.3 INFRA-ESTRUTURA 40](#_Toc350991082)

[5.3 ALGORITMOS DE GERENCIAMENTO DE VEÍCULOS 41](#_Toc350991083)

[5.3.1 MÉTODO BASEADO EM GPS COM MENOR TEMPO ESTIMADO DE ATENDIMENTO 41](#_Toc350991084)

[5.3.2 MÉTODO BASEADO EM GPS COM DISTÂNCIA EUCLIDIANA 46](#_Toc350991085)

[5.3.3 PROCESSAMENTO DA FILA DE ESPERA 46](#_Toc350991086)

[6 TESTES DOS ALGORITMOS DE DESPACHO 48](#_Toc350991087)

[6.1 SIMULAÇÃO DO MÉTODO *BROADCASTING* 48](#_Toc350991088)

[6.2 MODELO DE AVALIAÇÃO DOS ALGORITMOS 49](#_Toc350991089)

[6.2.1 SOBRE O SIMULADOR 49](#_Toc350991090)

[6.2.2 CARACTERÍSTICAS DO SIMULADOR 51](#_Toc350991091)

[6.2.3 ALGORITMO DE SIMULAÇÃO 52](#_Toc350991092)

[6.2.4 MÉTODO DE MEDIDA DE TEMPO ATÉ ATENDIMENTO 53](#_Toc350991093)

[6.2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O AMBIENTE DE TESTES 53](#_Toc350991094)

[6.3 TESTES DO MODELO 54](#_Toc350991095)

[6.3.1 CONDIÇÕES PARA OS TESTES 55](#_Toc350991096)

[6.3.2 RESULTADOS DOS TESTES 59](#_Toc350991097)

[6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 64](#_Toc350991098)

[7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 67](#_Toc350991099)

[REFERÊNCIAS 69](#_Toc350991100)

[APÊNDICE A - FLUXODE REQUISIÇÃO DE TAXI 77](#_Toc350991101)

LISTA DE FIGURAS

[Figura 1: Dispositivos rastreadores de taxis em Xangai (Xuet al. (2005)). 22](#_Toc350991102)

[Figura 2: Diagrama de fluxo de requisição de taxis. 23](#_Toc350991103)

[Figura 3: Mapa de ocupação de taxis na cidade de Xangai (Xuet al. (2005)). 23](#_Toc350991104)

[Figura 4: Visualização de interface *web mobile* para clientes de taxi. 31](#_Toc350991105)

[Figura 5: Exibição da localização de todos os taxistas no sistema, através de mapa e tabela de posicionamento geográfico. 32](#_Toc350991106)

[Figura 6: Diagrama de transição de estados de um taxista 33](#_Toc350991107)

[Figura 7: Diagrama de transição de estados de um cliente 34](#_Toc350991108)

[Figura 8: Diagrama de transição de estados - Atendimento. 37](#_Toc350991109)

[Figura 9: Arquitetura do software 38](#_Toc350991110)

[Figura 10: Exemplo de rotas entre taxistas e um cliente 43](#_Toc350991111)

[Figura 11: Método para filtro de taxistas avaliados pelo sistema, de acordo a distância até o cliente. 45](#_Toc350991112)

[Figura 12: Histograma contendo a distribuição dos taxistas em relação ao ponto central (em 104 execuções) 56](#_Toc350991113)

[Figura 13: Tempo médio de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição. 60](#_Toc350991114)

[Figura 14: Distância média de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição. 60](#_Toc350991115)

[Figura 15: Correlação entre o tempo de atendimento e a distância percorrida. 61](#_Toc350991116)

[Figura 16: Tempo de execução dos algoritmos 61](#_Toc350991117)

[Figura 17: Tempo médio de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição. 63](#_Toc350991118)

[Figura 18: Distância média de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição. 63](#_Toc350991119)

LISTA DE TABELAS

[Tabela 1: Modos de despacho de taxi (adaptado de (XU, YUAN, *et al.*, 2005)) 19](#_Toc350991120)

[Tabela 2: Resultado da pesquisa de qualidade realizada com operadores de companhias de taxi de Cingapura, utilizando o sistema AVLDS (adaptado de(LIAO, 2001)). 26](#_Toc350991121)

[Tabela 3: Análise estatística da distância entre os taxistas e o ponto central da cidade. 56](#_Toc350991122)

[Tabela 4: Análise estatística da variabilidade dos testes. 59](#_Toc350991123)

[Tabela 5: Análise estatística da variabilidade dos testes. 62](#_Toc350991124)

# INTRODUÇÃO

Taxi 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 há indisponibilidade de oferta de taxis, em horários de pico do tráfego e até mesmo em horários específicos, como as noites de sábado (OLIVEIRA, 2011), (OLIVEIRA, 2012) (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 taxis conveniados (LOPES, 2012), aumentar a frota (TERRA S.A., 2011) (OLIVEIRA, 2011), e adotar outras medidas de modo a possibilitar o aumento da oferta de serviços.

Entre as causas da indisponibilidade de serviços de taxi 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 . Devido à falta de taxis, 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 taxi para o cliente (OLIVEIRA, 2011).

Os números apresentados são referentes aos valores médios de distribuição, 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 que geram uma forte procura em um ponto específico, geralmente concentrada num horário (encerramento do evento);
* Dias chuvosos os quais 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 taxi;
* 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 taxi 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 taxi, em geral, é pouco satisfatório quanto à sua eficiência operacional. As razões para isso estão relacionadas ao modo como os taxis são organizados – agendamento de serviço por ligações telefônicas, atendimento a usuários que estão nas ruas e pontos de taxi (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 taxi. 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[[1]](#footnote-2) 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.

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 taxis já foi oferecido e estudado em (LIAO, 2009)e (XU, YUAN, *et al.*, 2005). Nesses sistemas, a solicitação de serviço de taxi 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 taxis 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 taxi 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 taxis, 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 do 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 taxi. 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 com um software de controle de frota (OFMS - *Order Fleet and Management System*) espera-se a melhora da eficiência dos taxis no atendimento ao público.

Usando o software proposto nesse documento, busca-se a diminuição do tempo de espera por taxis, além de aumento da taxa de ocupação dos veículos. Os usuários deverão esperar menos tempo, pois serão capazes de encontrar o taxi 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, por meio de estatísticas, 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).

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GERAL

Propor um sistema de requisição de taxis 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 de espera em no mínimo 20%.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O trabalho tem como objetivos específicos:

1. Diminuir o tempo médio de espera dos clientes por serviços de taxi e reduzir o deslocamento dos taxistas para atendimento de requisições de serviço;
2. Integrar diferentes serviços de requisição de taxi;
3. Realizar rastreamento dos veículos, aumentando a segurança de passageiros e motoristas;

# REFERENCIAL TEÓRICO

## SERVIÇOS BASEADOS EM LOCALIZAÇÃO

Os serviços de taxis estão presentes em diferentes localidades mundiais. Grandes centros contam, normalmente, com um a 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 taxi são estudados sobre diferentes óticas e em diferentes contextos, a fim de aumentar sua capacidade operacional. Em muitas localidades, o transporte por taxi 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 taxis 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 maximizara 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 fundamentais dos sistemas OFMS:

* Calculo 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.

Através 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 .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Informação de Localização | Posição Taxi Desconhecida | Posição Taxi Conhecida |
| Posição Passageiro Desconhecida | Modo *Random Searching* | Modo *Fixed Stop* |
| Posição Passageiro Conhecida | Modo *Broadcasting* | Modo baseado em GPS |

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

O método de trabalho *Random Serching* é aquele em que um passageiro espera por taxi 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 taxi 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 taxi (ou o conjunto de taxis) 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 taxis conveniados(XU, YUAN, *et al.*, 2005).

Percebe-se,de acordo da , que o melhor método de atendimento,quando é conhecida a localização de taxistas e passageiros é o despacho de veículos baseados em GPS. 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 taxi 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 os 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 taxi de um determinado local. Um comportamento típico de usuários ou taxistas, como a opção por permanecer em pontos de taxi 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 utilizada 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 taxi”, 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 taxi, utilizar modelos já estudados por outros autores. Vários estudos estabeleceram modelos matemáticos que definem o comportamento de serviços de taxi. (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 taxi. A partir de fórmulas obtidas, tais como a média de espera por taxi e a quantidade de quilômetros nos quais um taxi 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 taxi 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.*, 2005), 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 taxi.

## ESTUDOS 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 taxi 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 mostra o equipamento instalado nos taxis da Companhia DaZhong.



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

A requisição de serviços de taxis ocorre através de chamadas telefônicas. Nessas chamadas, o usuário informa sua localização e a central de despacho (*dispatching center*) automaticamente identifica a unidade de taxi 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 diagramada .

Figura 2: Diagrama de fluxo de requisição de taxis.

A central de despacho de veículos da DaZhong (*DaZhong Dispatching Center – DZDC*) possui tanto o controle da localização dos taxis 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 taxi na cidade de Xangai são mostradas aos operadores, como pode ser visto na , através 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 taxis na cidade de Xangai (Xuet al. (2005)).

O sistema utilizando 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 taxis disponíveis na cidade.

O sistema AVLDS é utilizado por diferentes companhias de taxi em Singapura, ao contrário daquele estudado em Xangai, disponível apenas para uma companhia de taxi. 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[[2]](#footnote-3) ao 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).

O sistema AVLDS, em Singapura, possibilitou melhorias semelhantes àquelas atingidas em Xangai. Em um estudo anterior (LIAO, 2001) foi avaliado 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. Os operadores deram notas a diversos quesitos, separados por área. Os resultados para a pesquisa foram compilados e os resultados médios estão disponíveis na .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Categoria | Quesitos | Nota |
| Precisão do Sistema | - Capacidade de determinar o taxi mais próximo do consumidor  - Capacidade de estimar o tempo que o taxi atinja seu destino  - Capacidade de transmissão de informação de reserva de taxi | 0,867 |
| Eficiência do sistema | - O sistema pode identificar o taxi mais próximo do cliente  - O tempo de resposta é baixo  - O tempo até o taxi chegar ao passageiro diminuiu | 0,689 |
| Comunicação | - Dificuldade de transmitir dados aos taxistas  - Informação é dada pelo satélite de forma clara e sem interferência | 0,782 |
| Aceitação dos usuários | - Os operadores preferem trabalhar com o sistema atual  - O gerenciamento e manutenção é realizada constantemente no sistema  - Há canais de feedback  - O sistema foi implementado com mínima resistência  - Os operadores sentem-se no controle usando o sistema | 0,756 |
| Produtividade | - O sistema, da forma como está, facilita o trabalho?  - A comunicação por dados permite ao operador atender mais clientes em comparação à comunicação verbal?  - O número de reservas aumentou em relação ao sistema por rádio?  - O número de chamadas recebidas com o modelo de GPS aumentou?  - Mais reservas podem ser realizadas utilizando o sistema com o mesmo esforço? | 0,808 |

Tabela 2: Resultado da pesquisa de qualidade realizada com operadores de companhias de taxi de Cingapura, utilizando o sistema AVLDS (adaptado de(LIAO, 2001)).

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 taxis nas cidades em que foram implantados.

# MÉTODO

## 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 classificada como pesquisa exploratória. Nela, baseado em intuições dos pesquisadores sobre áreas que acreditam sem mais promissoras, procura-se o aprimoramento de ideias ou a descoberta 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).

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto buscou-se utilizar uma metodologia de desenvolvimento que permita a criação 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. Nela, será adotada uma variação destinada a desenvolvedores individuais, o *Scrum Solo*. Nesse método de trabalho, todos os papéis do SCRUM, exceto aquele de PO (*Product Owner*), é exercido 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).

# RESULTADOS

## VISÃO GERAL DO SOFTWARE

A solução proposta nesse documento foi criada para funcionar prioritariamente com duas formas de solicitação de serviços de taxi: 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 taxis 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.

### RECURSOS DO SOFTWARE

A construção do software iniciou-se, após a 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 (OFMS) 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 .

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 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 taxi.

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

Ao fim da requisição de taxi 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.

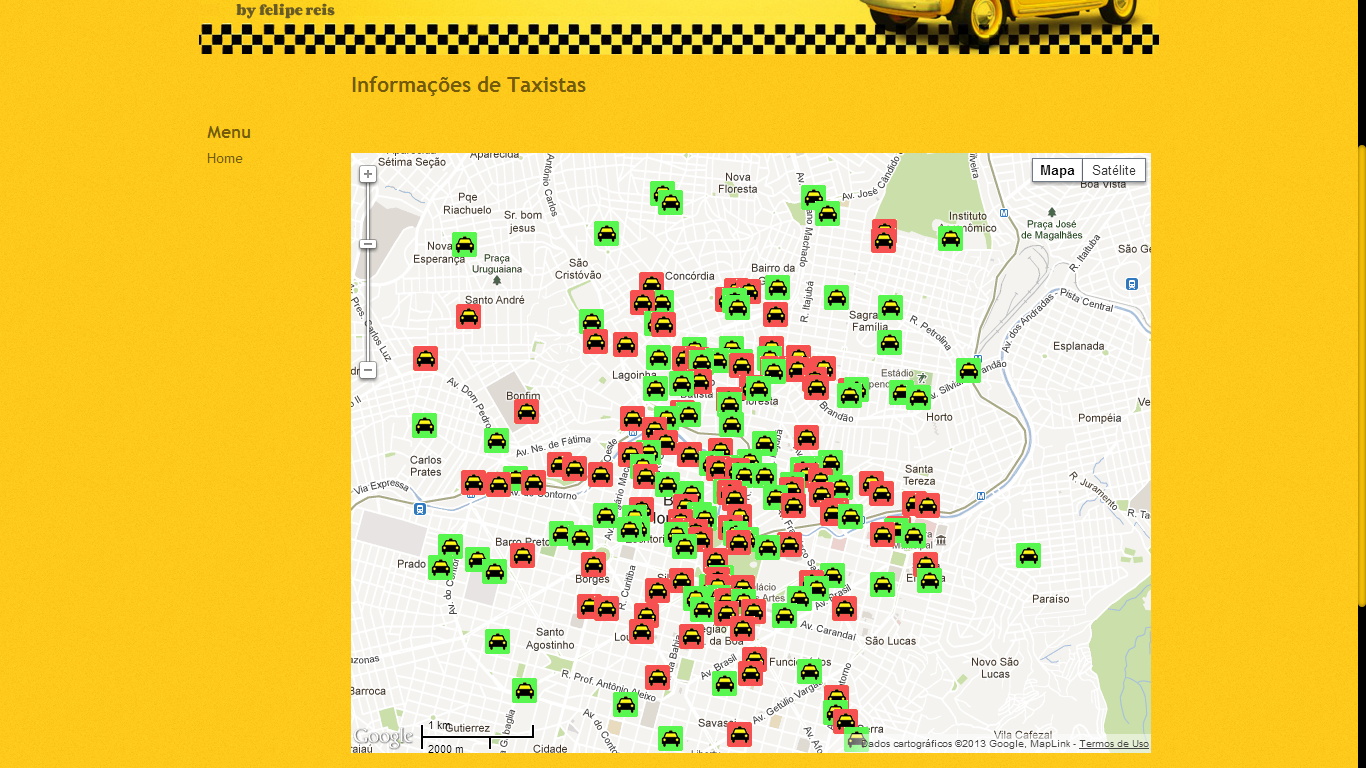


Figura 5: Exibição da localização de todos os taxistas no sistema, através de mapa e tabela de posicionamento geográfico.

### FLUXO DE ATENDIMENTO DE SOLICITAÇÃO DE TAXI

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 taxi 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 taxi, 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. Esse procedimento é realizado por meio do aplicativo disponível para taxistas, que envia ao servidor suas coordenadas.

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 de alteração dos estados dos taxistas através do diagrama de Estados da UML na Figura 6.

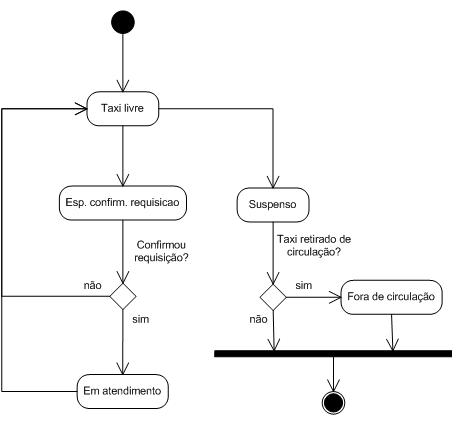


Figura 6: Diagrama de transição de estados de um taxista

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.

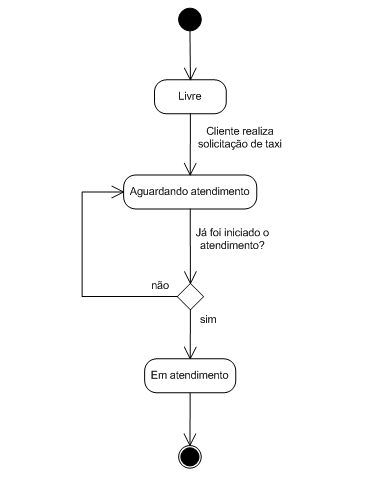


Figura 7: Diagrama de transição de estados de um cliente

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:

1. O cliente realiza uma requisição de atendimento;
2. O sistema identifica o taxista mais apto a atendê-lo;
3. O sistema informa ao taxista mais apto sobre a requisição;
4. O taxista aceita a solicitação;
5. O cliente confirma a o pedido;
6. O taxista é informado sobre o aceite do cliente e dirige-se ao local onde este se encontra;
7. Após o início do atendimento, o taxista informa ao sistema sobre o início da “corrida”;
8. Quando chegar ao destino, o taxista informará ao sistema sobre a conclusão do atendimento;
9. 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 responder ao sistema o mais breve possível sobre 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.

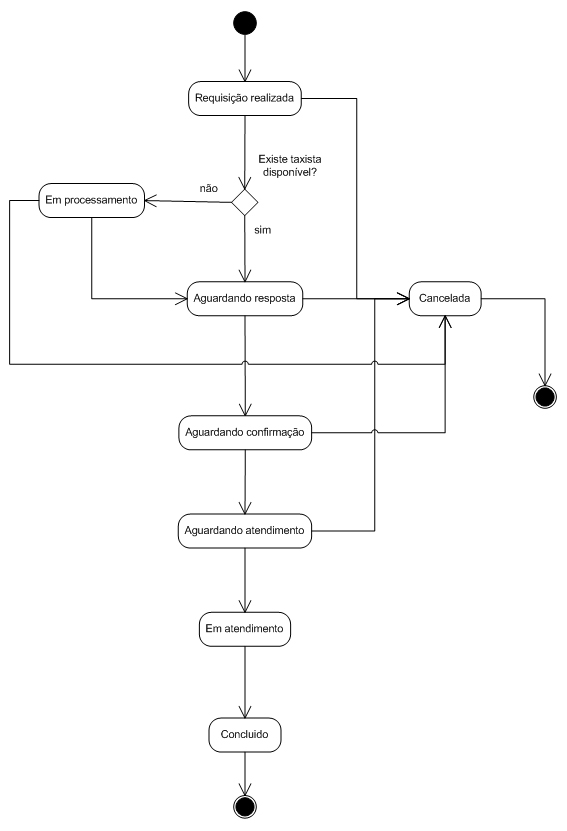


Figura 8: Diagrama de transição de estados - Atendimento.

## 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.

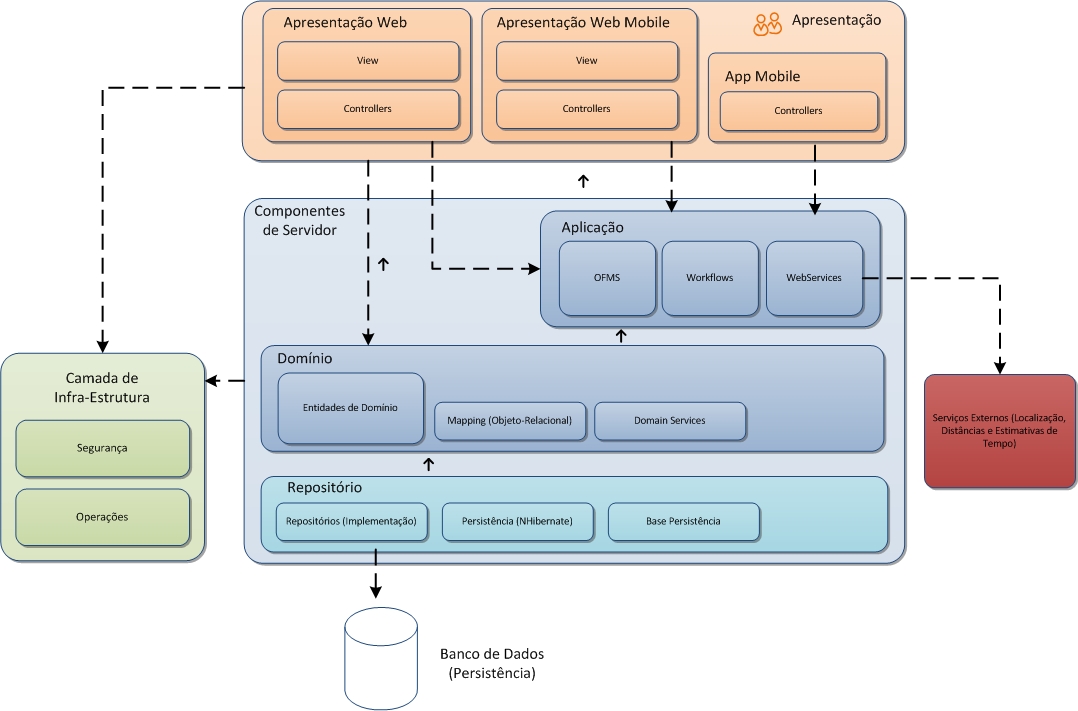


Figura 9: Arquitetura do software

### 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 é direcionada aos usuários que não utilizarão dispositivos móveis para requisição de serviços. A outra, principal foco do projeto é direcionado aos usuários que realizarão sua requisição utilizando *tablets* ou *smartphones*. A interface móbile também será a utilizada pelos taxistas para respostas aos pedidos de taxi.

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 taxis e visualização de informação, existe um *app* desenvolvido para telefones com sistema operacional Android que monitora a posição geográfica de taxistas. Esse serviço 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*.

### 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 . 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, incluindo as camadas de negócios, 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 chamado 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 taxi 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 taxis 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.

### INFRA-ESTRUTURA

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.

## ALGORITMOS DE GERENCIAMENTO DE VEÍCULOS

A escolha do melhor taxi para atendimento de uma requisição foi desenvolvida sobre o modo de despacho baseado em GPS. 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 baseado em GPS, testaremos três métodos desenvolvidos para solução do principal objetivo do trabalho: diminuir o tempo médio de espera por atendimento.

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

### 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 a 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 taxis 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 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 taxi mais próximo, quando avaliado somente por esse critério, poderá demorar mais para deslocar-se até o cliente do que um taxi 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 1que 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.

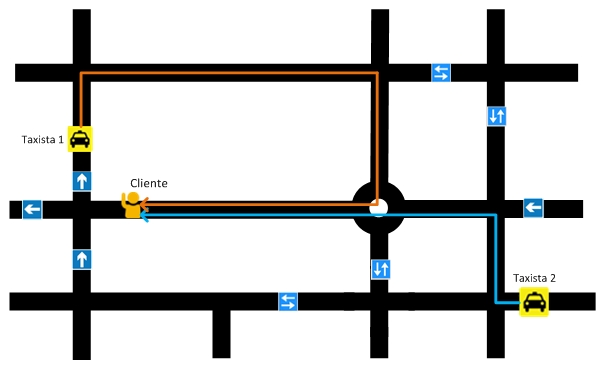


Figura 10: Exemplo de rotas entre taxistas e um cliente

A fim de evitar a situação descrita no exemplo acima, o algoritmo de processamento de requisições de taxi 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:

1. Aumenta-se a faixa de distância mínima para encontrar taxistas
   1. Caso sejam encontrados taxistas nessa nova faixa, ocorre o processamento para escolha do melhor veículo para atender a demanda;
   2. Caso não sejam encontrados taxistas, aumenta-se novamente a faixa de distância;
      1. Caso sejam encontrados taxistas, ocorre novo processamento sobre os taxistas encontrados;
      2. 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.

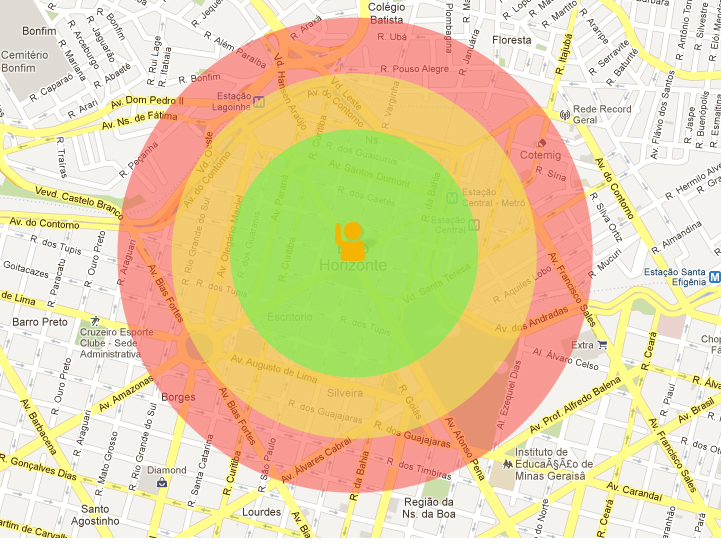


Figura 11: Método para filtro de taxistas avaliados pelo sistema, de acordo a distância até o cliente.

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 consideravelmente 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 taxis disponível seja muito alto, a fim de reduzir o processamento. O taxista com o menor tempo previsto para atendimento será aquele definido como responsável pela requisição.

### 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 para que um taxista seja avaliado pelo sistema, de modo que taxistas muito longe do cliente não sejam selecionados para realizar o atendimento. Dessa forma, caso não seja encontrado um taxista próximo, o cliente será colocado na fila de espera.

### 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 taxis disponíveis. O método processamento da fila de espera é o mesmo independente dos algoritmos utilizados para escolha do melhor taxi disponível.

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

1. Um taxista terminou seu atendimento e agora possui status como “Livre”;
2. Reavaliação periódica dos taxis, 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 taxis 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 a distância em relação aos taxis desocupados. A escolha desse método evita também situações comuns em processamento de filas com prioridade, como o *starvation*.

# 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.

Apesar de já existirem estudos semelhantes identificando a melhoria da qualidade de atendimento quando utilizado o modelo baseado em GPS em relação ao modelo *broadcasting* (XU, YUAN, *et al.*, 2005) não há estudos comparativos com valores numéricos do aumento de eficiência de um modelo em relação ao outro.

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

## 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 aleatória, 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 e sorteia um taxista responsável. Através do sorteio, podemos representar a seleção do taxista que se candidatou para atendimento.

## MODELO DE AVALIAÇÃO DOS ALGORITMOS

### 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 taxi. 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 às características da simulação, onde a distribuição das requisições é gerada de forma aleatória, porém com distribuição maior de localização no centro do experimento e também a simplicidade da implementação, 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 que a probabilidade na região central. Na prática, apesar 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 taxi (CHENG e QU, 2009).

Os taxistas, assim como o gerador de demanda, não foram distribuídos uniformemente pelo mapa. A distribuição dos taxis 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 taxis 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 taxi, em um ponto da cidade, em um intervalo de tempo próximo, outro cliente desembarque de outro taxi em outra região. Isso ocorre devido ao número de requisições que são realizadas durante todo o dia e devido a 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.

### CARACTERÍSTICAS DO SIMULADOR

O simulador tem como características a manutenção da razão aproximada entre a quantidade de taxis ocupados e o número total de taxis. 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 taxis 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 taxi 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 sobre condições homogêneas, de modo que não há variação na oferta de serviços. Na prática, supõe-se que o algoritmo foi executado fora de um horário de pico e que a quantidade de solicitações nesse horário manteve-se inalterada.

### ALGORITMO DE SIMULAÇÃO

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

1. O sistema define um número N de taxis e os coloca de modo aleatório na cidade;
2. Cerca de metade dos taxis são marcados como ocupados;
3. Os taxistas movem-se aleatoriamente pela cidade, em eventos discretos sem alterar consideravelmente sua posição atual;
4. Alguns taxistas têm seu status alterado de “Ocupado” para “Livre” e vice-versa, simulando o início/final de atendimentos;
5. O algoritmo de teste simula uma requisição de um passageiro;
6. O sistema de despacho de veículos escolhe o melhor taxista de acordo com o algoritmo utilizado.
7. O sistema marca o taxista como ocupado, evitando que ele seja responsável por outros atendimentos;
8. Se o número de requisições propostas no teste ainda não tiver sido atingido, o sistema volta ao passo (c). 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.

### MÉTODO DE MEDIDA DE TEMPO ATÉ ATENDIMENTO

Para medir o tempo de médio de atendimento, foi utilizado o Google Maps API para estimar o tempo de deslocamento do taxista até o cliente. Esse tempo será aquele definido 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 com esses testes é verificar 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.

### 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 taxis 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 é importante é aquela no momento em que o evento ocorre. Desse modo, a movimentação dos taxis 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 durante a execução de um evento.

Outra característica não avaliada pelo software foi a concorrência entre requisições. Em um sistema real, é possível que ao selecionar um taxi 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.

## TESTES DO MODELO

A fim de avaliar os modelos criados, foram elaboradas situações que tentam reproduzir diferentes condições da busca por taxi 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 taxi disponível, evitando possíveis situações indesejadas, além da influencia de diferentes condições, devido a casualidades, alterando o resultado médio final.

### CONDIÇÕES PARA OS TESTES

O município de Belo Horizonte foi definido como aquele onde os testes seriam executados, simulando uma condição real. Devido a 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, foram realizados vários ajustes no modelo, a fim de simular condições próximas às existentes. Foram definidas duas variações de testes, a fim de simular a disponibilidade de taxistas. O método escolhido para alterar a disponibilidade foi a variação da quantidade de taxis, disponíveis em uma mesma área. Com isso houve alteração na quantidade de taxistas por km2, 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 104 posicionamentos aleatórios, distribuídos em 40 amostras de 250 localizações. O histograma correspondente as distâncias dos taxistas em relação ao ponto central, bem como a análise estatística de variação das distâncias encontradas para as amostras podem ser vistas, respectivamente, na Figura 12 e na Tabela 3.

Figura 12: Histograma contendo a distribuição dos taxistas em relação ao ponto central (em 104 execuções)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ANOVA – FATOR ÚNICO | | | | | | |
| *Fonte da variação* | *SQ* | *gl* | *MQ* | *F* | *valor-P* | *F crítico* |
| Entre grupos | 15,64235 | 39 | 0,401086 | 0,85183 | 0,729861 | 1,400522 |
| Dentro dos grupos | 4689,684 | 9960 | 0,470852 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Total | 4705,327 | 9999 |  |  |  |  |

Tabela 3: Análise estatística da distância entre os taxistas e o ponto central da cidade.

A partir da avaliação estatística dos pontos gerados, pode-se iniciar a construção dos testes do sistema, de acordo com as configurações adotadas. Abaixo estão descritas as configurações tomadas, através de valores numéricos, completando as informações existentes na seção 6.2:

* Coordenadas do ponto inicial: (-19.918001º, -43.934455º)
* Taxa de ocupação média dos taxistas: 0,5
* Probabilidade de taxistas a leste do ponto inicial: 0,5
* Probabilidade de taxistas a norte do ponto inicial: 0,5
* Números de taxistas 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: 0,9
* Probabilidade máxima da alteração do status de um taxista (“Livre” para “Ocupado” ou vice-versa): 0,1

O sistema executou em cada teste 30 solicitações de atendimento de taxi, realizados 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 a 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 rodam na cidade em um determinado horário e sobre ele 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 , com média de 12 corridas por taxista . Na cidade, existem 5961 taxis cadastrados, que trabalham aproximadamente 13 horas por dia, segundo estimativas . Como os valores médios não correspondem ao número de taxistas que rodam por dia, a BHTrans, empresa responsável por gerenciar a atividade de taxis em Belo Horizonte, estima que cerca de 1500 taxistas não rodam a cada dia, enquanto que o sindicato estima esse número em 600 veículos . Realizando uma média, devido a divergência de informações, temos um número de 1050 placas que não trabalham em um dia.

Para realizarmos os testes, consideraremos as informações acima, supondo que a distribuição de requisições seja 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 km2. Através dessa informação, podemos definir a existência de um taxista a cada 0,12 km2.

Para a construção de um modelo de avaliação, tomaremos um número aproximado de taxistas em uma área restrita da cidade. Em seguida avaliaremos o aumento do número de taxistas, bem como a diminuição da oferta de serviços, em um modelo reduzido. No teste correspondente ao caso médio, teremos uma quantidade de 300 taxistas em uma área de aproximadamente 34,84 km2, com uma taxa média de 8,61 taxista por km2 ou um taxista a cada 0,116 km2.

No teste alternativo, com menor quantidade de taxistas disponíveis para atendimento a uma requisição, foram colocados 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 taxis disponíveis para atendimento.

### RESULTADOS DOS TESTES

A primeira análise a ser realizada sobre os dados obtidos na execução do teste principal é o estudo de variabilidade das amostras, de acordo com o algoritmo utilizado para escolha do melhor taxista disponível. A Tabela 4 mostra o estudo da variabilidade das amostras.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ANOVA - Método GPS com Estimativa do Tempo Mínimo de Atendimento | | | | | | |
| *Fonte da variação* | *SQ* | *gl* | *MQ* | *F* | *valor-P* | *F crítico* |
| Entre grupos | 3,31E-06 | 13 | 2,55E-07 | 0,38634 | 0,973872 | 1,744308 |
| Dentro dos grupos | 0,000268 | 406 | 6,6E-07 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Total | 0,000271 | 419 |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ANOVA – Método GPS com Distância Euclidiana | | | | | | | | | | | | |
| *Fonte da variação* | | *SQ* | | *gl* | | *MQ* | | *F* | *valor-P* | | *F crítico* | |
| Entre grupos | | 1,3E-05 | | 13 | | 9,96E-07 | | 0,58152 | 0,869174 | | 1,744308 | |
| Dentro dos grupos | | 0,000696 | | 406 | | 1,71E-06 | |  |  | |  | |
|  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |
| Total | | 0,000709 | | 419 | |  | |  |  | |  | |
| ANOVA – Método *Broadcasting* | | | | | | | | | | | | |
| *Fonte da variação* | *SQ* | | *gl* | | *MQ* | | *F* | | | *valor-P* | | *F crítico* |
| Entre grupos | 1,67E-05 | | 13 | | 1,29E-06 | | 0,753108 | | | 0,709828 | | 1,744308 |
| Dentro dos grupos | 0,000693 | | 406 | | 1,71E-06 | |  | | |  | |  |
|  |  | |  | |  | |  | | |  | |  |
| Total | 0,00071 | | 419 | |  | |  | | |  | |  |

Tabela 4: Análise estatística da variabilidade dos testes.

A partir dessas informações, podemos mostrar os resultados obtidos por meio das execuções dos algoritmos. 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.

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

As informações correspondentes a distância média percorrida pelos taxistas nas amostras pode ser vista por meio da Figura 14.

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

Podemos correlacionar o tempo médio de espera com a distância percorrida pelos taxistas. Como é sabido, o tempo médio para atendimento está ligado 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, devemos avaliar o tempo de execução dos algoritmos a fim de que possamos avaliar o tempo de resposta de cada um deles e medir sua eficiência na busca pelo melhor taxista disponível para atender as requisições. A avaliação do tempo médio de execução dos algoritmos pode ser vista na Figura 16.

Figura 16: Tempo de execução dos algoritmos

#### TESTE II: DIMINUIÇÃO DA OFERTA DE TAXIS

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 taxistas foi de 5,74 taxistas por km2.

De acordo com as execuções, pudemos realizar a análise estatística de distribuição das amostras, do mesmo modo que foi feito para o primeiro teste. A análise estatística para o teste alternativo pode ser visto na Tabela 5.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ANOVA – Método GPS com Tempo Estimado de Atendimento | | | | | | |
| *Fonte da variação* | *SQ* | *gl* | *MQ* | *F* | *valor-P* | *F crítico* |
| Entre grupos | 7,53E-06 | 13 | 5,79E-07 | 0,749428 | 0,713652 | 1,744308 |
| Dentro dos grupos | 0,000314 | 406 | 7,73E-07 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Total | 0,000321 | 419 |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ANOVA – Método GPS com Distância Euclidiana | | | | | | |
| *Fonte da variação* | *SQ* | *gl* | *MQ* | *F* | *valor-P* | *F crítico* |
| Entre grupos | 2,24E-05 | 13 | 1,73E-06 | 1,131348 | 0,330236 | 1,744308 |
| Dentro dos grupos | 0,00062 | 406 | 1,53E-06 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Total | 0,000642 | 419 |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ANOVA – Método *Broadcasting* | | | | | | |
| *Fonte da variação* | *SQ* | *gl* | *MQ* | *F* | *valor-P* | *F crítico* |
| Entre grupos | 2,17E-05 | 13 | 1,67E-06 | 1,079389 | 0,375198 | 1,744308 |
| Dentro dos grupos | 0,000627 | 406 | 1,54E-06 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Total | 0,000648 | 419 |  |  |  |  |

Tabela 5: Análise estatística da variabilidade dos testes.

Para avaliar a alteração do desempenho causado pela modificação dos testes, podemos realizar a comparação do tempo de espera de cada um dos algoritmos nas duas condições avaliadas. O resultado da comparação entre os atendimentos podem ser vistos na Figura 17.

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

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 de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição.

## 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 taxista 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.

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.

Através de uma avaliação mais cuidadosa, é possível constatar que a diminuição média nos dois testes executados, obtida para o método GPS com Menor de Tempo Estimado de Atendimento foi de 52,8%, enquanto que o método GPS com Distância Euclidiana houve redução média de 26,1% em relação ao método *broadcasting*.

Conforme podemos ver nos testes, há variação dos resultados conforme a disponibilidade de taxi 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 51,2%, enquanto que no método com Menor Tempo Estimado de Atendimento, foi de 27,1%.

Através da diferença entre os resultados quando há variação da disponibilidade de taxistas, pode-se ver 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 no resultados.

Deve-se lembrar que a interdependência entre a distância percorrida pelo taxista e o tempo de esperar 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 retenção 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.

Além do tempo de espera pelo usuário, outra métrica utilizada na definição de um OFMS é tempo de execução dos algoritmos, de acordo com as condições descritas na seção 3.1. De acordo com a avaliação do software, 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 executados 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 a posição original é de 63,3m, quando considerado o tempo médio de resposta do sistema

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução proposta nesse documento 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 taxi, 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 *deskop*, 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*.

Através da solução proposta, 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*, o que já era esperado segundo (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 taxi.

Apesar das limitações do modelo, quanto à simulação de ambientes reais, devido à variabilidade de condições existentes em situações reais e à complexidade de modelos que simulam a dinâmica da movimentação de veículos pelas cidades, podemos indicar que a solução apresentada mostra uma melhora na eficiência dos serviços de taxis para um caso médio. A solução proposta no projeto contribui para melhorar um serviço tido como ineficiente, devido ao número de horas desperdiçadas sem passageiros e a forma de organização atual dos taxis.

Em trabalhos futuros é ideal que sejam realizadas modelagens mais eficientes de outras condições a serem consideradas pelo software na estimativa dos resultados. Como já informado na seção 3.1, a avaliação de fatores externos ao fluxo de taxi, como chuvas ou eventos, podem causar aumento da demanda e 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 avaliação do melhor taxi, de modo a melhorar 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 taxis estão distribuídos pela cidade e podem fornecer informações como a velocidade média em uma via, contribuindo para melhoria dos serviços de trânsito nas grandes cidades.

REFERÊNCIAS

8051 FORUM. Vehicle Tracking System Using GPS and GSM Modem. **8051 Forum**. Disponivel em: <http://www.8051projects.info/content/projects/7-vehicle-tracking-system-using-gps-gsm-modem.html>. Acesso em: 29 nov. 2011.

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

BRASIL. RE nº 212, de 13 de novembro de 2006. **Ministério das Cidades, Conselho Nacional de Trânsito.**, 2006.

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. Disponivel 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>. 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. Disponivel em: <http://www.revistaencontro.com.br/revista/edicao/123/cidade/o-taxi-sumiu.html>. Acesso em: 20 out. 2012.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - USP. Objetivos da Pesquisa. **Sistema Galileu de Educação Estatísitica**, 2012. Disponivel em: <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. Disponivel 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>. Acesso em: 01 mar. 2013.

ESTADO DE MINAS. BHTrans fecha o cerco ao táxi ocioso. **EM.COM.BR**, 2013. Disponivel em: <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.

HAMMAN, R. SINIAV: Todos os automóveis brasileiros ganham chip até 2014. **TecMundo**, 2011. Disponivel em: <http://www.tecmundo.com.br/infografico/8371-siniav-todos-os-automoveis-brasileiros-ganham-chip-ate-2014.htm>. Acesso em: 17 mar. 2012.

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. Disponivel em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasregionais/2009/contasregionais2009.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2012.

IDG NOW! Banda larga cresce 70% no País em um ano. **IDG Now!**, 16 mar. 2012. Disponivel em: <http://idgnow.uol.com.br/internet/2012/03/16/banda-larga-cresce-70-no-pais-em-um-ano/>. Acesso em: 20 mar. 2012.

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

INITATIVE, 3. -A. G. 3GPP Specification Series. **3GPP Specification Series**. Disponivel em: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25-series.htm.>. Acesso em: 29 nov. 2011.

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 Engeneering 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. Disponivel em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/01/11/interna\_gerais,271694/corrida-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. Disponivel 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. Disponivel em: <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. Disponivel em: <http://desafios2.ipea.gov.br/003/00301009.jsp?ttCD\_CHAVE=11522>. Acesso em: 18 mar. 2012.

NOGUEIRA, F. Simulação a Eventos Discretos, 2009. Disponivel 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. Disponivel 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>. 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. Disponivel 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>. 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.

SCHWABER, K.; BEEDLE, M. **Agile Software Development with Scrum**. [S.l.]: Prentice Hall, v. 18, 2001.

SILVA, A. P.; MATEUS, G. R. A Mobile Location-Based Vehicle Fleet Management Service Application. **Intelligent Vehicles Symposium, IEEE**, p. 25-30, 2003.

SIMCOM. Development Kit Manual. SIM5218\_EVB\_UGD\_V1.01. **SIMCom Wireless Solutions Co. Ltd.** Disponivel em: <http://wm.sim.com/Sim/News/photo/2010510150917.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2011.

SIMCOM. WCDMA/HSPDA Module SIM5218. **SIMCom Wireless Solutions Co. Ltd.** Disponivel em: <http://wm.sim.com/Sim/News/photo/20120223041449878.PDF>. Acesso em: 29 nov. 2011.

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

TAKEUCHI, H.; NONAKA, I. The new product development game. **Harvard Business Review**, jan. 1986.

TAUCHEN, J. Metodologia de Pesquisa - Como classificar as pesquisas, 2009. Disponivel em: <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. Disponivel em: <http://noticias.terra.com.br/brasil/transito/noticias/0,OI5523095-EI998,00-SP+aumenta+em+mil+n+de+taxistas+para+suprir+demanda.html>. Acesso em: 16 jun. 2012.

THOMAS, D. E.; ADAMS, J. K.; SCHMIT, H. A Model and Methodology for Hardware-Software Codesign. **Design & Test of Computers, IEEE**, v. 10, n. 3, p. 6-15, set. 1993. ISSN 0740-7475.

W3C - WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. HTML5. **W3C**, 2012. Disponivel em: <http://www.w3.org/TR/html5/>. Acesso em: 10 out. 2012.

WIKIPEDIA. W-CDMA (UMTS). **Wikipedia, The Free Enciclopedia**, 2011. Disponivel em: <http://en.wikipedia.org/wiki/W-CDMA\_%28UMTS%29>. Acesso em: 29 nov. 2011.

WIKIPEDIA. Domain Model. **Wikipedia, The Free Enciclopedia**, 2012. Disponivel em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Domain\_model>. Acesso em: 07 out. 2012.

WIKIPEDIA. Equipamento Rastreador de Cargas. **Wikipedia, The Free Enciclopedia**, 2012. Disponivel em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Equipamento\_Rastreador\_de\_Cargas>. Acesso em: 02 jul. 2012.

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

WIKIPEDIA. Six Sigma. **Wikipedia, The Free Enciclopedia**, 2012. Disponivel em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Six\_Sigma>. Acesso em: 24 jun. 2012.

WIKIPEDIA. Globally unique identifier. **Wikipedia, The Free Enciclopedia**, 2013. Disponivel em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Globally\_unique\_identifier>. Acesso em: 27 fev. 2013.

WISCHHOF, L. et al. SOTIS - A Self-organizing Traffic Information System. **Vehicular Technology Conference. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual**, n. 57, p. 2442-2446, 2003.

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.

ZILIASKOPOULOS, A.; ZHANG, J. A Zero Public Infrastructure Vehicle Based Traffic Information System. **Transportation Research Board. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board.**, jan. 2003.

APÊNDICE A - FLUXODE REQUISIÇÃO DE TAXI

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\imagens\estados_1.jpg | Cliente  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\cliente1.png  Taxista  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\taxista1.png |
| C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\imagens\estados_2.jpg | Cliente  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\cliente2.png  Taxista  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\taxista2.png |
| C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\imagens\estados_3.jpg | Cliente  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\cliente3.png  Taxista  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\taxista3.png |
| C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\imagens\estados_4.jpg | Cliente  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\cliente4.png  Taxista  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\taxista4.png |
| C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\imagens\estados_5.jpg | Cliente  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\cliente5.png  Taxista  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\taxista5.png |
| C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\imagens\estados_6.jpg | Cliente  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\cliente6.png  Taxista  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\taxista6.png |
| C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\imagens\estados_7.jpg | Cliente  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\cliente7.png  Taxista  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\taxista6.png |
| C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\imagens\estados_8.jpg | Cliente  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\cliente8.png  Taxista  C:\Users\freud\Desktop\tcc_final\workflow\taxista6.png |

1. do inglês, *dispatching*. [↑](#footnote-ref-2)
2. Número de Identificação Pessoal (PIN – *Personal Identification Number*) [↑](#footnote-ref-3)