

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TRANSPORTE
COLETIVO EM TEMPO REAL VIA GPS PARA
SMARTPHONE

EVERTON MIYABUKURO

BLUMENAU
2015

2015/1-13

EVERTON MIYABUKURO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TRANSPORTE
COLETIVO EM TEMPO REAL VIA GPS PARA
SMARTPHONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Regional de Blumenau como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Prof. Francisco Adell Péricas, Mestre - Orientador

**BLUMENAU
2015**

2015/1-13

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TRANSPORTE
COLETIVO EM TEMPO REAL VIA GPS PARA
SMARTPHONE**

Por

EVERTON MIYABUKURO

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado
para obtenção dos créditos na disciplina de
Trabalho de Conclusão de Curso II pela banca
examinadora formada por:

Presidente: _____
Prof. Francisco Adell Péricas, Mestre – Orientador, FURB

Membro: _____
Prof. Antônio Carlos Tavares, Mestre – FURB

Membro: _____
Prof. Matheus Carvalho Viana, Doutor – FURB

Blumenau, 06 de Julho de 2015

Dedico este trabalho a meus pais, sempre presentes e que me permitiram chegar onde estou hoje.

AGRADECIMENTOS

A meus pais, pelo esforço, dedicação e confiança a mim dispensados.

Aos meus amigos, pelo apoio, sugestões e críticas construtivas que me auxiliaram.

A minha empresa, pelas oportunidades oferecidas que me auxiliam a concluir este trabalho.

Ao meu orientador Francisco Adell Péricas, por seu apoio, esforço e confiança no desenvolvimento deste trabalho.

Desistir é o que mata pessoas. Uma vez que se recusem a desistir, pessoas ganham o privilégio de fazer da humanidade seu caminho.

Kouta Hirano

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de ônibus do transporte coletivo com o uso da tecnologia GPS que permite a disponibilização de informações de localização dos ônibus para o usuário final através de *smartphones*. O sistema foi desenvolvido com a utilização das ferramentas Visual Studio 2012, Android Studio 1.1.0 e MongoDB para o desenvolvimento de, respectivamente, serviços web, duas aplicações móveis e banco de dados não relacional, com tratamento de informações geográficas. Uma das aplicações móveis é utilizada para monitoramento de localização dos ônibus enquanto a outra disponibiliza tanto informações de localização quanto informações relativas a linhas e itinerários, além de permitir ao usuário consultar rotas de acordo com a sua necessidade. Ao final do desenvolvimento do trabalho, foi possível concluir que as informações relativas ao posicionamento de ônibus podem ser disponibilizadas ao usuário final com bom grau de confiabilidade e alto grau de atualização, bem como foi possível obter dados que permitem predição de tempo para rotas de acordo com os dados obtidos no monitoramento dos ônibus.

Palavras-chave: Sistemas inteligentes de transporte. Transporte coletivo. Sistemas GPS. Sistemas avançados de informação ao usuário.

ABSTRACT

This document presents the development of a public mass transit bus monitoring system with GPS technology that allows information of buses location to the user through smartphones. The system has been developed by using the Visual Studio 2012, Android Studio 1.1.0 and MongoDB tools to, respectively, develop web services, two mobile applications and a non relational database with geographic information processing. One mobile app is used to buses monitoring and other to presents location, lines and itinerary information and allows the user to check routes accordingly their needs. With the achieved results, it has been possible to conclude that buses position information could be given to the end user with good reliability grade and high update frequency, making it possible to get data that allows to estimate time for routes from buses monitoring data.

Key-words: Intelligent transportation systems. Mass transit. GPS Systems. Advanced traveller information systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Comparativo entre ocupação da via com veículos privados e transporte coletivo ..	19
Figura 2– Órbitas dos satélites GPS.....	20
Figura 3– Princípio de funcionamento do GPS para descoberta de posição.....	21
Figura 4– Comparativo entre exatidão e precisão em um GPS.....	22
Figura 5– Exemplo de arquitetura de rede de celular GSM.....	23
Figura 6– Comunicação da BTS com as MS	24
Figura 7– Arquitetura de uma <i>wifi</i> em modo infraestrutura e ad hoc.....	25
Figura 8– Arquitetura de uma rede <i>wifi</i> conectada a uma rede fixa	25
Figura 9– Informações de horários e rotas ao usuário	28
Figura 10– Estrutura conceitual de um sistema AVL.....	29
Figura 11– Exemplo de bilhetagem eletrônica através de cartão específico.....	30
Figura 12– Tela inicial do Vou de Ônibus	30
Figura 13– Dados de um itinerário selecionado	31
Figura 14– Página principal do módulo administrativo do Vou de Ônibus.....	31
Figura 15– Exemplo de localização do ônibus no sistema Olho Vivo	32
Figura 16– Exemplo de operação do Itibus em um smartphone	33
Figura 17– Visualização de uma rota e trechos de trânsito com o Google Maps e Google Transit	34
Figura 18– Diagrama de casos de uso da aplicação.....	38
Figura 19– Diagrama de atividades do processo de atualização de localização	39
Figura 20– Diagrama de atividades do processo de localização de rotas	40
Figura 21– Ferramenta Android Studio	42
Figura 22– Ferramenta Microsoft Visual Studio 2012	43
Figura 23– Execução do banco de dados MongoDB em conjunto com a ferramenta MongoVUE.....	43
Figura 24– Requisição ao serviço web efetuada através de navegador, com retorno em formato JSON.....	44
Figura 25– Aplicativo monitor para os ônibus	46
Figura 26– Detalhe da área de notificação do <i>smartphone</i>	47
Figura 27– Tela principal do aplicativo para o usuário	48
Figura 28– Listagem de itinerários disponíveis para uma determinada linha.....	48

Figura 29– Mapa com pontos de todos ônibus para determinada linha.....	49
Figura 30– Sugestão de rota para o usuário	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais recursos de várias versões de redes 802.11	26
Quadro 2 – Requisitos funcionais do sistema e rastreabilidade	37
Quadro 3 – Requisitos não funcionais do sistema	37
Quadro 4 – Estrutura básica dos dados do sistema, em modelo de documento com formato JSON	41
Quadro 5– Requisitando dados de localização de GPS e A-GPS.....	44
Quadro 6– Trecho de código correspondente a rotina de atualização de localização.	45
Quadro 7– Trecho de código correspondente a rotina de localização de rotas	46
Quadro 8 – Comparativo entre os trabalhos correlatos.....	51
Quadro 9 – Caso de uso 01.....	59
Quadro 10 – Caso de uso 02.....	59
Quadro 11 – Caso de uso 03.....	60
Quadro 12 – Caso de uso 04.....	61
Quadro 13 – Caso de uso 05.....	62
Quadro 14 – Caso de uso 06.....	62
Quadro 15 – Caso de uso 07.....	63
Quadro 16 – Caso de uso 08.....	63
Quadro 17 – Caso de uso 09.....	63
Quadro 18 – Estrutura dos dados relativos a pontos.....	66
Quadro 19 – Estrutura dos dados relativos a itinerários	66
Quadro 20 – Estrutura dos dados relativos a linhas	66
Quadro 21 – Estrutura dos dados relativos a ônibus.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G – *Second Generation*

3G – *Third Generation*

4G – *Fourth Generation*

A-GPS – *Assisted GPS*

AFP – *Advanced Fare Payment*

AP – *Access Point*

APTS – *Advanced Public Transportations Systems*

ATIS – *Advanced Traveller Information System*

AVL - *Automatic Vehicle Location*

AVM – *Automatic Vehicle Monitoring*

BSC – *Base Station Controller*

BSS – *Basic Service Set*

BSS – *Base Station Subsystem*

BTS – *Base Transceiver Station*

CA – *Course Acquisition*

DS – *Distribution System*

EDGE – *Exchanged Data rates for GSM Evolution*

ESS – *Extended Service Set*

GPRS – *General Packet Radio Services*

GPS – *Global Positioning System*

GSM – *Global System for Mobile Communications*

HSDPA – *High Speed Downlink Packet Access*

HSPA – *High Speed Packet Access*

IBSS – Independent Basic Service Set

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

JSON – JavaScript Object Notation

LTE – Long Term Evolution

MS – Mobile Station

MSC – Mobile Switching Center

NoSQL – Not Only SQL

NSS – Network and Switching Subsystem

OMC - Operations and Maintenance Center

OMS – Operation Management Subsystem

P – Precision

RF – Requisito Funcional

RNC – Radio Network Controller

RNF – Requisito Não Funcional

SIT – Sistemas Inteligentes de Transporte

SIU – Sistemas de Informação ao Usuário

SSID – Service Set Identifier

STA – Station

UC – Use Case

ULTRAN – Universal Terrestrial Radio Access Network

UMTS – Universal Mobile Telecommunications System

WEP – Wired Equivalent Privacy

WPA – Wi-Fi Protected Access

WPA2 – Wi-Fi Protected Access 2

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.2 ESTRUTURA	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 O TRÂNSITO E A IMPORTÂNCIA DO TRANSPORTE COLETIVO.....	18
2.2 SISTEMAS GPS	20
2.3 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS	22
2.3.1 Redes de celular	23
2.3.2 Redes <i>wifi</i>	24
2.4 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE	26
2.4.1 SISTEMAS AVANÇADOS DE TRANSPORTE PÚBLICO	27
2.5 VOU DE ÔNIBUS.....	30
2.6 TRABALHOS CORRELATOS	32
2.6.1 Olho Vivo SPTrans	32
2.6.2 Curitiba: Itibus e Google Transit	33
2.6.3 UbibusRoute	34
3 DESENVOLVIMENTO	36
3.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO	36
3.2 ESPECIFICAÇÃO	36
3.2.1 Requisitos do sistema.....	37
3.2.2 Diagrama de casos de uso	37
3.2.3 Diagrama de atividades	38
3.2.4 Modelagem dos dados a serem armazenados	40
3.3 IMPLEMENTAÇÃO	41
3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas	42
3.3.2 Operacionalidade da implementação	46
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4 CONCLUSÕES	53
4.1 EXTENSÕES	54
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICE A – Descrição dos casos de uso	58

APÊNDICE B – Dicionário de dados	65
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

Com o seu crescimento, diversas cidades passaram a conviver com um importante problema: a concentração populacional e seu correspondente aumento da necessidade de meios de transporte. Como a grande maioria das cidades não foi planejada para este crescimento, seus sistemas de transporte exigem grandes investimentos para se tornarem eficientes, sendo que esta questão torna-se mais acentuada em cidades de países em desenvolvimento. Diversas alternativas são pensadas para solucionar esta questão, porém de modo geral, as mais eficientes, como metrô e veículos leves sobre trilhos, são muito onerosas e demandam tempo considerável para implantação. Além disso dependem da existência prévia de uma estrutura de trilhos, pois caso não exista, seu custo torna-se ainda mais alto.

Nesse aspecto, os sistemas de transporte coletivo via ônibus são uma alternativa mais viável, pois possui rápida implantação e custo acessível (REIS et al., 2013). Contudo, nota-se que apenas a implantação de sistemas de transporte coletivo não é solução para o problema. Se sua implantação for lenta ou o sistema apresentar problemas de atrasos, passagem com custo elevado e má qualidade, a preferência do usuário recairá sobre meios de transporte individuais, como carros e motos. Neste aspecto, a agregação de tecnologias aliadas ao sistema de transporte público, como por exemplo, os sistemas de transporte inteligentes são de grande valia. Por meio da aplicação da tecnologia, é possível gerenciar frotas de transporte coletivo, extrair dados relativos à eficiência da mesma e informar o usuário do transporte público. Isso permite que o mesmo possa planejar suas viagens, ganhando tempo e tendo menor estresse, ao mesmo tempo que incentiva o usuário a utilizar o transporte coletivo (BRASIL, 2008).

As principais tecnologias que, aplicadas ao transporte coletivo, permitem ganhos visíveis aos usuários do transporte coletivo são as relativas à automatização de processos de pagamento, como a bilhetagem eletrônica. Com importância ainda maior dos sistemas de informação ao usuário, que permitem ao mesmo obter informações relativas a horários, frequência e localização do veículo de transporte (ANTP, 2012). Enquanto atualmente as tecnologias de bilhetagem eletrônica estão amplamente difundidas por diversos municípios do Brasil, são poucos os municípios que contam com tecnologias de informação ao usuário em nível mais avançado, fornecendo, por exemplo, dados de localização de frota. Municípios de regiões metropolitanas, como São Paulo e Curitiba são os melhores exemplos de onde esta tecnologia é atualmente aplicada.

Visando atender as questões anteriormente expostas e vislumbrando uma crescente necessidade regional pela melhoria de aspectos qualitativos do transporte coletivo, este trabalho propõe-se a dar continuidade a um trabalho já desenvolvido por Bruno César Barellibet (2013), cuja proposta foi a criação de um sistema de monitoramento da frota de transporte coletivo com tecnologias *Global Position System* (GPS) e *General Packet Radio Service* (GPRS). A partir das necessidades levantadas, propõe-se a expansão do trabalho citado ao criar um sistema que permita a localização de ônibus via GPS, bem como a disponibilização destas informações para o usuário final por meio de um *smartphone*, permitindo ao mesmo efetuar consulta de rotas para permitir melhor planejamento de suas viagens.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é o desenvolvimento de um sistema que permita a localização de ônibus do transporte coletivo por meio de *smartphones* com GPS e a disponibilização destas informações para o usuário final. Já os objetivos específicos do trabalho são:

- a) desenvolvimento de um aplicativo para *smartphones* com o sistema operacional Android a ser utilizado nos veículos do transporte coletivo para obter a localização dos mesmos;
- b) desenvolvimento de um serviço web que irá ser responsável pelo armazenamento das informações relativas ao transporte coletivo (linhas, itinerários, pontos e ônibus), bem como processamento da localização dos ônibus e atendimento de requisições de informações dos usuários;
- c) desenvolvimento de um aplicativo para *smartphones* com o sistema operacional Android que disponibilizará as informações relativas a linhas e itinerários, um mapa com a localização de pontos e ônibus em percurso e, por fim, permitirá ao usuário requisitar rotas conforme sua localização, destino e horário de saída desejado.

1.2 ESTRUTURA

No primeiro capítulo do trabalho há uma introdução ao tema do trabalho, bem como apresentação de seus objetivos e estrutura.

No segundo capítulo há a fundamentação teórica do trabalho, com a apresentação informações relativas à importância do transporte coletivo, sistemas GPS, sistema de

transmissão de dados, sistemas inteligentes de transporte, o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) Vou de Ônibus e trabalhos correlatos.

No terceiro capítulo há a apresentação do desenvolvimento do sistema, através do levantamento de requisitos, especificação, demonstração de ferramentas e técnicas utilizadas, implementação e resultados e discussão.

Por fim, no quarto capítulo há as conclusões a respeito do trabalho e sugestões de extensões observadas ao longo do desenvolvimento do mesmo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

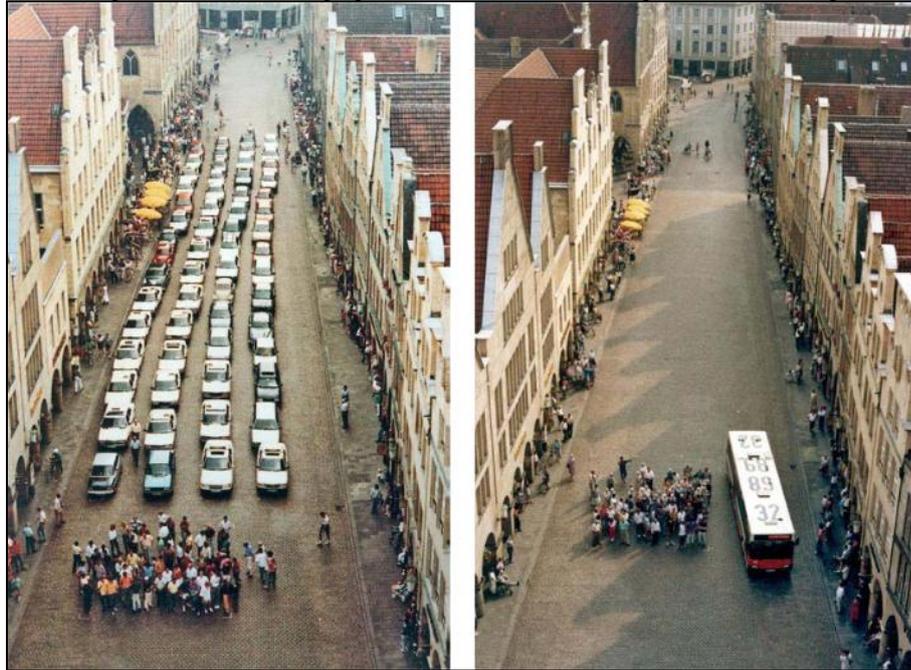
Neste capítulo serão apresentados os principais assuntos relacionados ao trabalho, como a importância do transporte coletivo no trânsito, sistemas de localização GPS, sistemas de transmissão de dados via redes de celular e *wifi*, sistemas inteligentes de transporte, o trabalho Vou de Ônibus (BARELLIBET, 2013) e trabalhos correlatos.

2.1 O TRÂNSITO E A IMPORTÂNCIA DO TRANSPORTE COLETIVO

Os meios de transporte são parte fundamental das cidades, fornecendo mobilidade e acesso essencial à maioria das atividades (IEA, 2002, p. 19). De acordo com Rodrigue (2013), existem diversos meios de transporte, como o aéreo, por ruas, por trilhos e marítimo. Um dos mais importantes em cidades o transporte por meio das ruas, que provém mobilidade aliada a baixos custos, facilitando a entrada a novos usuários, além de velocidade relativamente alta de seus veículos, flexibilidade de escolha de rotas e várias opções para executá-lo, através do transporte motorizado como ônibus, carros, e motos e não motorizados, como bicicletas e caminhar a pé.

Apesar de sua diversidade e flexibilidade, o transporte através de ruas possui na escassez de espaço de áreas urbanas um grave fator limitante, uma vez que, de modo geral, aproximadamente 20% da rede de ruas comportam de 60 a 80% do tráfego (RODRIGUE, 2013). Considerando o transporte de passageiros, soma-se a isto a baixa taxa de aproveitamento do transporte individual, já que veículos privados ocupam 60% do espaço de vias urbanas, mas transportam apenas 20% dos passageiros, contra 70% dos passageiros de ônibus que ocupam apenas 25% do espaço das vias (LACERDA, 2006, p. 87). Na Figura 1, é mostrada uma ilustração que compara a diferença de ocupação entre veículos individuais e do transporte coletivo.

Figura 1– Comparativo entre ocupação da via com veículos privados e transporte coletivo



Fonte: Brasil (2008, p. 97).

Com o crescimento de muitas cidades e consequente melhora de qualidade de vida da população, há uma tendência ao uso de meios de transporte individuais em detrimento aos coletivos. Tendência essa que se agrava ainda mais em cidades cuja frota de transporte coletivo não foi devidamente planejada e/ou não oferece benefícios que, na visão dos usuários, justifiquem seu custo.

O alto incremento de veículos privados somado ao despreparo de muitas cidades em relação ao crescimento de sua frota de veículos afeta diretamente o crescimento econômico, além da qualidade de vida dos usuários do trânsito, pois diminui a segurança com o aumento de acidentes de trânsito, maior ocorrência de congestionamentos e tráfego lento, bem como aumento da exposição dos usuários a ar poluído (IEA, 2002, p. 20).

Em Blumenau, a exemplo de outros municípios no Brasil, a frota de veículos aumenta em ritmo acelerado em comparação ao crescimento de sua população. Segundo estimativa do IBGE, sua população em 2014 foi de aproximadamente 334 mil pessoas, crescimento de aproximadamente 9% em relação a 2010. Já sua frota total possui aproximadamente 236 mil veículos em 2013 (último dado disponível), número 17,5% maior que em 2010 (IBGE, 2015). Com isso, nota-se que no período o crescimento da frota de veículos deve ser ainda maior do que em relação ao número de habitantes, crescimento este concentrado principalmente nos meios de locomoção individuais.

Com os dados citados, percebe-se que apenas a expansão das vias de trânsito em uma cidade não é o suficiente. Faz-se necessária a otimização dos meios de transporte já

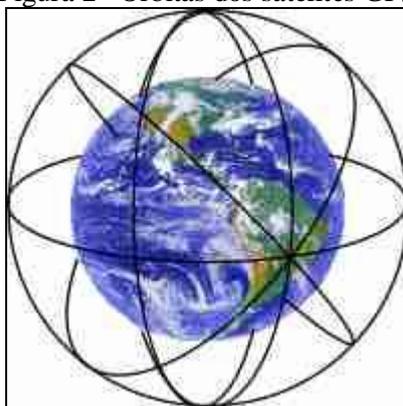
existentes, estimulando a diminuição ou promoção de melhor utilização de meios usualmente individuais (carros e motos) e priorizando o transporte coletivo. Em Blumenau, com sua frota de transporte coletivo composta de 267 veículos, que fazem aproximadamente 5472 viagens por dia e atendem aproximadamente 125 mil pessoas, já foram implementadas de algumas melhorias e estímulos, como a bilhetagem eletrônica, que dispensa a necessidade do usuário de carregar dinheiro e agiliza o embarque de passageiros; e os chamados corredores de ônibus, vias exclusivas que aumentam expressivamente a velocidade geral de ônibus (PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU, 2015).

2.2 SISTEMAS GPS

Os Sistemas *Global Positioning System* (GPS) são sistemas utilizados para obter posicionamento de maneira rápida e precisa em qualquer lugar na Terra. Desenvolvido no período da guerra fria com finalidade militar, o sistema é mantido pelo governo dos EUA, porém seu uso foi aberto para fins civis e comerciais, embora com precisão reduzida (POOLE, 2015). Do mesmo modo que os sistemas GPS, existem outros sistemas de localização, tais como o russo GLONASS e o europeu Galileo, desenvolvidos principalmente para o uso civil (DEY, [2015?]).

Para fornecer funcionalidade, o sistema GPS possui 24 satélites divididos em seis órbitas, inclinadas aproximadamente 55° em relação ao equador (para evitar que muitos satélites fiquem em uma área de baixa densidade demográfica), com quatro satélites em cada órbita. Deste modo, é possível obter cobertura global, ao mesmo tempo em que se permite o funcionamento de um número ilimitado de dispositivos (Figura 2).

Figura 2– Órbitas dos satélites GPS

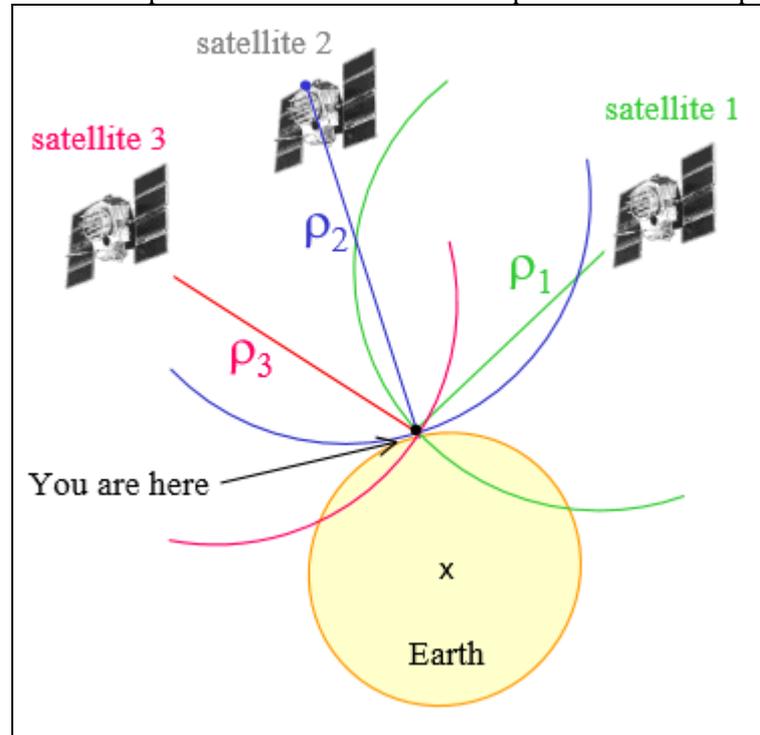


Fonte: Poole (2015b).

O princípio de funcionamento do GPS baseia-se no processo de triangulação, por meio do qual é possível descobrir a localização (latitude e longitude) de um ponto desconhecido a partir de dois pontos conhecidos, sabendo-se a velocidade e o tempo que o sinal levou para

chegar de um ponto a outro. Para obtenção de dados completos (latitude, longitude e altitude) são usados 4 satélites, mas apenas 3 para descobrir uma posição (Figura 3). Cada um desses satélites possui mecanismos de controle para manter suas posições em órbita precisamente, uma vez que erros em suas órbitas resultam em erros para o usuário final.

Figura 3– Princípio de funcionamento do GPS para descoberta de posição

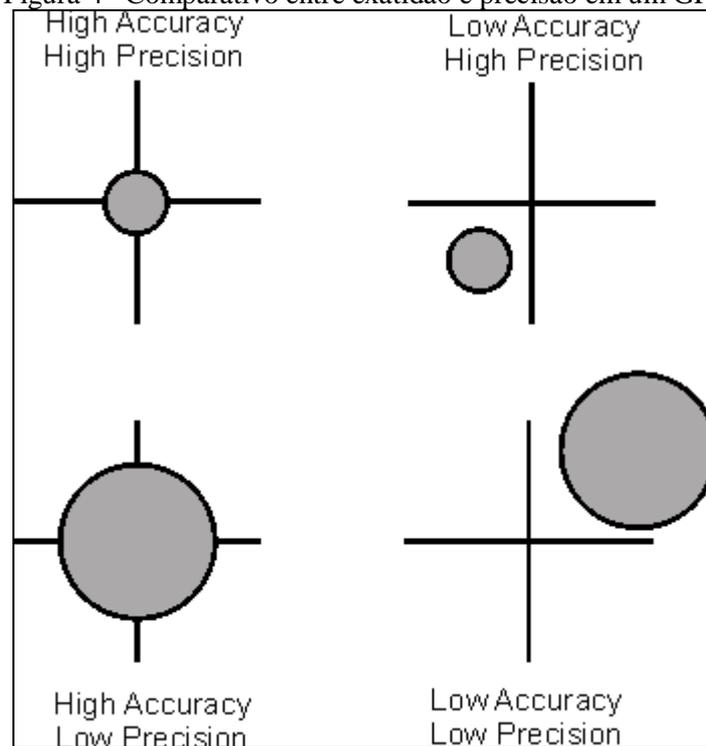


Fonte: Calais (2005).

Cada satélite GPS transmite dois sinais, *Course Acquisition (CA)* e o *Precision (P)*. O sinal CA é utilizado para uso civil e aberto enquanto o P é encriptado e transmitido com potência maior, o que aumenta sua precisão ainda mais. Ambos são transmitidos por meio de um mecanismo chamado *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*, o que permite que todos os satélites GPS utilizem a mesma frequência. As informações transmitidas por um satélite GPS incluem dados de sua posição, localização aproximada dos satélites em sua constelação, dados de integridade e correção de tempo, além de dados para correção de informações da ionosfera e identificação do mesmo.

Os sistemas GPS possuem dois dados que identificam sua confiabilidade: exatidão e precisão. A exatidão, o quão próximo do ponto o informado o usuário realmente está, é o fator que destacou o GPS frente a outras tecnologias, sendo muito maior e frequentemente suficiente a aplicações comerciais, sendo mais exato ainda para aplicações militares. Já a precisão é a escala da qual as leituras de posição podem ser feitas a partir do ponto determinado (POOLE, 2015a), conforme a Figura 4.

Figura 4– Comparativo entre exatidão e precisão em um GPS



Fonte: Poole (2015a).

Os sistemas GPS comerciais atuais podem fornecer posição de segundo em segundo, com precisão de 1/100.000 de grau. Isto significa uma exatidão de aproximadamente 10 metros em sistemas GPS comerciais, dependendo da antena e sistemas de gravação de dados utilizados (DEY, [2015?]). Como sistema auxiliar ao próprio sistema GPS, há também os sistemas GPS Assistido (A-GPS), que utilizam a rede de dados 3G/4G de operadoras para auxiliar na localização via GPS, aumentando sua velocidade (CIPOLI, 2014).

2.3 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Transmissão de dados é a utilização de um meio que permita o transporte de uma informação a dois pontos distantes. Essa transmissão pode ser efetuada tanto transportando-se fisicamente a mídia que contém a informação quanto utilizando algum meio que faça uso de algum fenômeno físico para o transporte da informação (MOREIRA, 2007).

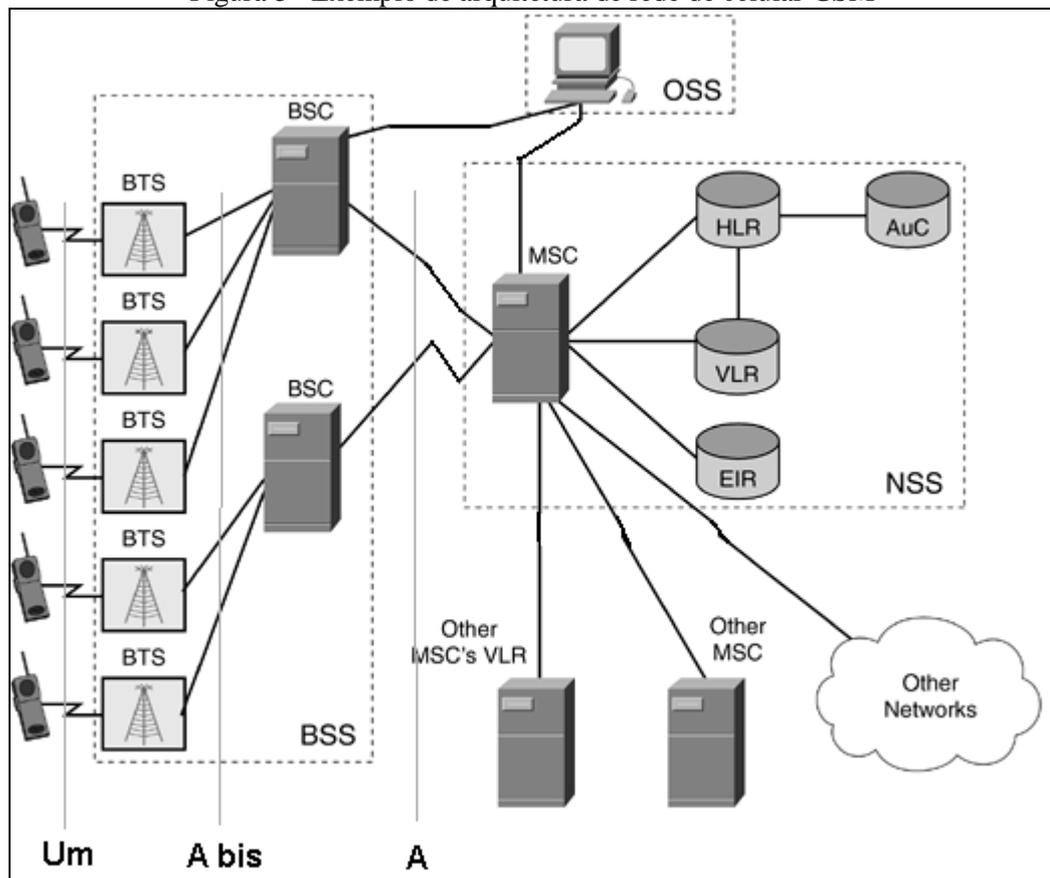
Dentre os diversos meios que podem ser utilizados para a transmissão de dados, destacam-se os através de cabos (com sinais elétricos), fibra óptica (através de luz), rádio frequência, *wifi* e redes de celular. Considerando-se a necessidade de transmissão de dados entre dispositivos (internet principalmente) e o aumento da necessidade de mobilidade e disponibilidade de cobertura destes meios, prioriza-se cada vez mais os que não necessitem de fios, com destaque no Brasil para as redes de celular e *wifi*.

2.3.1 Redes de celular

As redes de celulares, originalmente desenvolvidas para transmissão de voz, evoluíram para adaptar-se à necessidade de transmissão de dados para celulares. Originalmente composta pela rede GSM, atualmente possui diversos padrões, como o GPRS, EDGE, HSDPA, HSPA+ e LTE (CLOVE, 2015).

A arquitetura básica de uma rede de celular consiste em uma estação base chamada *Base Station Subsystem* (BSS), um sistema de rede e comutação chamado *Network and Switching Subsystem* (NSS) e um sistema de gerenciamento de operações chamado *Operation Management Subsystem* (OMS). O OMS está ligado ao BSS e ao NSS e o NSS está ligado a redes externas, como as de comunicação de voz a outras operadoras e a rede de Internet, bem como ao BSS, e o BSS está conectado diretamente aos usuários finais (Figura 5).

Figura 5– Exemplo de arquitetura de rede de celular GSM

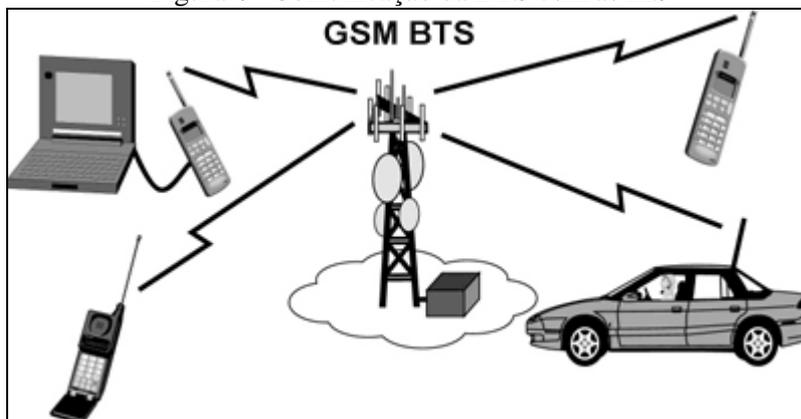


Fonte: Keep In Touch (2011).

A estrutura da BSS consiste nos *Base Transceiver Station* (BTS) e na *Base Station Controller* (BSC). Uma BTS é composta de um conjunto de antenas e transmissores de rádio denominado célula, a qual controla a comunicação via rádio em determinada área. Em locais onde é exigida grande quantidade de BTS, cada um se comunica a uma frequência ligeiramente diferente para não causar interferência uns nos outros. Já a BSC gerencia os

recursos das BTS e faz a interface entre os mesmos e a MSC, traduzindo o canal de voz de rádio utilizado para comunicação com as *Mobile Station* (MS) para o canal padrão de voz utilizado nas linhas telefônicas convencionais. Por fim, a MS é qualquer dispositivo capaz de utilizar a rede, como aparelhos celulares por exemplo (Figura 6).

Figura 6– Comunicação da BTS com as MS



Fonte: Poole (2015c).

Para um usuário poder usufruir da rede GSM, torna-se necessário uma identificação. Esta identificação é obtida através de um cartão SIM, que possui, além da identificação, os serviços utilizados pelo usuário, seus parâmetros de segurança e sua localização (atualizada em tempo real), permitindo ao usuário a utilização da infra-estrutura da rede (KEEP IN TOUCH, 2011).

2.3.2 Redes *wifi*

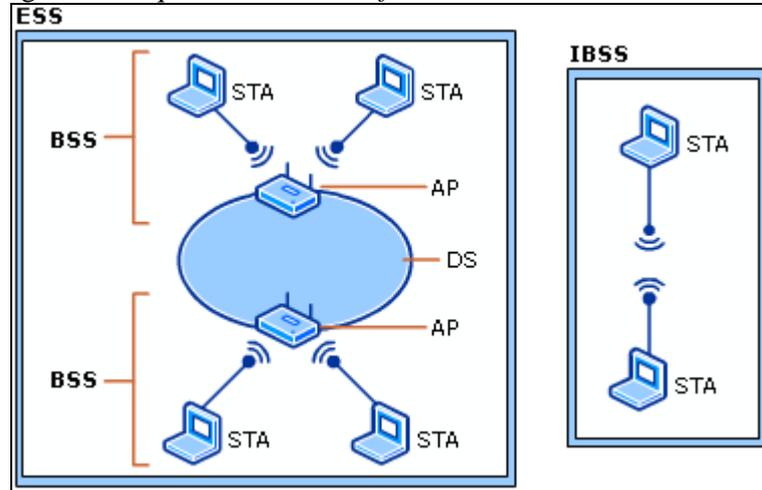
Visando evitar a necessidade de conexão com cabos em cada dispositivo para conexão com uma rede local, foram desenvolvidas as redes locais sem fio (WLAN). As redes conhecidas como *wifi* são redes sem fio que seguem a especificação IEEE 802.11 (ALECRIM, 2013).

Sua arquitetura possui diversos componentes: as STA (Estação), os *Access Point* (AP), os *Independent Basic Service Set* (IBSS) e *Basic Service Set* (BSS), os *Distribution System* (DS) e os *Extended Service Set* (ESS). Dependendo do modo de conexão da rede, alguns elementos não são utilizados.

As redes 802.11 podem operar em modo *ad hoc* ou de infraestrutura. No modo *ad hoc*, também conhecido como ponto a ponto, cada STA comunica-se diretamente uma com a outra, constituindo um IBSS. Não há DS neste modo (Figura 7). Já no modo infraestrutura, há ao menos um AP e no mínimo uma STA conectada a esse AP, constituindo o BSS. Neste caso, também pode haver uma estrutura de conexão de redes *wifi* para um ponto específico de uma rede cabeada, constituindo um DS, sendo que uma ou mais BSS constituem a ESS

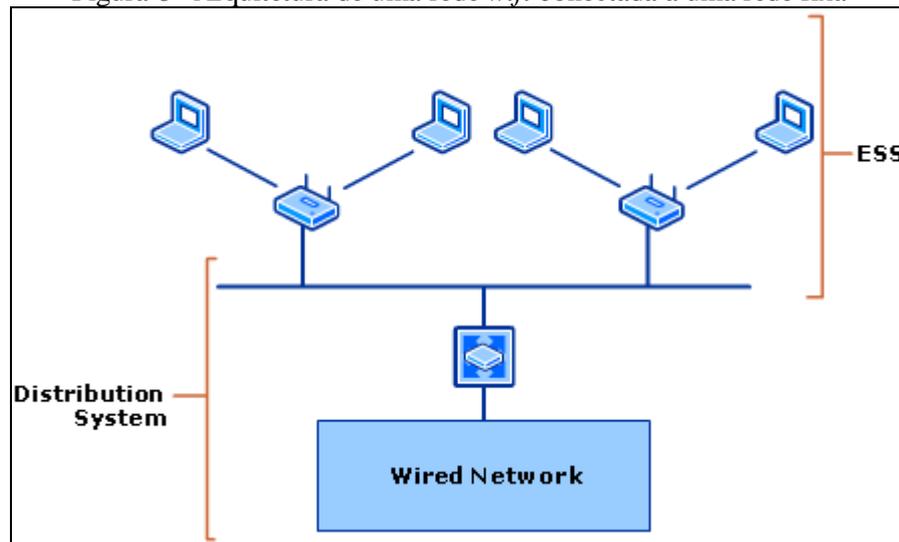
(MICROSOFT, 2003) (Figura 8). Adicionalmente, ainda existe o modo *mesh*, que nada mais é do que um conjunto de STA operando em modo *ad hoc*, com algum protocolo de roteamento aplicado (FLICKENGER, 2006).

Figura 7– Arquitetura de uma *wifi* em modo infraestrutura e ad hoc



Fonte: Microsoft (2003).

Figura 8– Arquitetura de uma rede *wifi* conectada a uma rede fixa



Fonte: Microsoft (2003).

Para cada rede 802.11 criada, é feita a criação de um SSID junto à mesma. O SSID representa uma identificação da rede, sendo transmitido em cada pacote da comunicação de dados. Ao contrário das redes de celular, em que o usuário necessita obrigatoriamente ser autenticado, é possível que uma rede 802.11 seja aberta, não requerendo autenticação para seu uso. No entanto, como isto reduz a segurança da mesma, geralmente é exigida a autenticação. Para este processo existem diversos protocolos, como o WEP, WPA e WPA2. O WEP é o mais antigo e mais fraco deles, onde uma chave de 64 ou 128 bits é usada para estabelecer a comunicação entre dispositivos. No entanto, esta chave utiliza vetores de inicialização muito pequenos (24 bits), os quais tornam a chave facilmente quebrável. Já o WPA se baseia em um

protocolo chamado TKIP e utiliza uma chave de 128 bits combinada com o MAC *address* do dispositivo. Além disso, a senha da rede é utilizada apenas para estabelecer a conexão e não como chave, como acontece no WEP. Nela a chave da conexão muda de tempos em tempos. Já o WPA2 utiliza o padrão de criptografia AES, tornando-se mais seguro que o WPA, mas ao mesmo tempo exigindo mais processamento (ALECRIM, 2013).

As redes 802.11 possuem diversas versões, cada uma com diferentes velocidades, alcances e recursos a destacar. No quadro 1 são mostrados os principais dados comparativos destas versões.

Quadro 1 – Principais recursos de várias versões de redes 802.11

Protocolo	Frequência	Velocidade (típica)	Velocidade (nominal)	Alcance interno aproximado (dependente de número e tipo de paredes)	Alcance externo aproximado (passando por uma parede)
802.11	2.4 GHz	0.9 Mbps	2 Mbps	20 metros	100 metros
802.11a	5 GHz	23 Mbps	54 Mbps	35 metros	120 metros
802.11b	2.4 GHz	4.3 Mbps	11 Mbps	38 metros	140 metros
802.11g	2.4 GHz	19 Mbps	54 Mbps	38 metros	140 metros
802.11n	2.4 GHz 5 GHz	74 Mbps	248 Mbps	70 metros	250 metros

Fonte: Kober Q&A (2013).

Muito embora as redes 802.11 ofereçam melhor velocidade, nota-se que sua disponibilidade é muito inferior a rede 2G/3G, sem considerar que muitas vezes a mesma pode ser fechada, exigindo autenticação para seu uso. Além disso, a cobertura de AP 802.11 é muito inferior a de uma operadora de celular, limitando seu uso a locais próximos de onde o mesmo está instalado. Por fim, em aplicações móveis, mesmo com sistemas especialmente desenvolvidos para o uso de *wifi* na qual a conexão será constantemente verificada, as redes 802.11 possuem perdas expressivas de dados. Portanto, seu uso pode ser interessante quando não houver a necessidade de transmissão de dados em movimento, situação na qual as redes 2G/3G se sobressaem, ou em aplicações que requeiram a transmissão de dados em movimento mas o tempo de resposta não é crítico ou importante e a confiabilidade possa ser sacrificada (BALASUBRAMANIAN, 2010).

2.4 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE

Os Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) podem ser definidos como a aplicação da tecnologia da informação, aliada às telecomunicações e a eletrônica, no planejamento, gestão,

operação e fiscalização do transporte urbano. Configuram-se como alternativa viável em termos de custo-eficácia, além de contribuir para o atendimento das indispensáveis características de sustentabilidade do setor de transportes, dentre elas a redução do tempo perdido em congestionamentos, dos acidentes de trânsito, dos custos do transporte, do consumo de energia e dos danos ambientais (MEIRELLES, 2013, p. 2).

Segundo Figueiredo et al. (2015), dentre as diversas categorizações possíveis, há seis grandes grupos principais de SIT. Os *Advanced Traffic Management Systems* (ATMS), os *Advanced Travellers Information Systems* (ATIS), os *Commercial Vehicles Operation* (CVO), os *Advanced Public Transportations Systems* (APTS), os *Advanced Vehicles Control Systems* (AVCS) e os *Advanced Rural Transport Systems* (ARTS).

Embora em outros países sejam amplamente utilizados, no Brasil os SIT estão em fase inicial de utilização. Os principais campos de utilização pública dos SIT no Brasil são os relativos a controle e gerenciamento de frotas ou automatização de cobranças tarifárias, a exemplo da bilhetagem eletrônica (o SIT mais presente nas cidades brasileiras atualmente, a exemplo do cartão Siga de Blumenau). Mas poucas cidades possuem também SIT focados em controle operacional, a exemplo de São Paulo (SILVA, 2000, p. 24).

Sabendo disso, tem-se ainda uma das áreas de SIT que ainda não é muito explorada no Brasil e com grande potencial: os ATIS ou Sistemas de Informação ao Usuário (SIU). Considerados como uma ferramenta diálogo com o usuário, estes permitem extrair um conjunto de informações relativas a uma rede, garantindo um aumento da qualidade do serviço prestado ao usuário. Em países com os SIT já em desenvolvimento, há um grande foco na implantação de ATIS, de modo a informar rotas e horários em tempo real, reduzindo os tempos de espera e atraindo os passageiros a modalidade de transporte coletivo (SILVA, 2000, p. 24). Nota-se que os ATIS podem ser categorizados como integrante dos APTS, neste caso em específico operando conjuntamente com outras categorias de sistemas para melhoria do transporte público (HANSEN; QURESHI; RYDEWSKI, 2015).

2.4.1 SISTEMAS AVANÇADOS DE TRANSPORTE PÚBLICO

De acordo com Bittencourt (2012, p. 28), a importância dos APTS reside em “seu potencial para solucionar os problemas ligados ao serviço de ônibus e promover a priorização do sistema”. Segundo Ceder (2007, p. 561), os APTS são uma resposta aos problemas de confiabilidade dos sistemas de transporte, fornecendo um conjunto de tecnologias que aumentam a mobilidade, conveniência e segurança de seus usuários.

Existem diversas subcategorias de ATPS, sendo as principais os ATIS, os *Automatic Vehicle Monitoring* (AVM) e os *Advanced Fare Payment* (AFP) (HANSEN; QURESHI; RYDEWSKI, 2015). Os ATIS, são sistemas que fornecem aos usuários informações a respeito do trânsito ou relativas à viagem que os mesmos estão fazendo, podendo ser subcategorizados em *pretrip* (sistemas que fornecem horários e rotas antes de o usuário efetuar sua viagem) e *en route* (como os sistemas de navegação GPS, que fornecem localização em tempo real para os passageiros, sendo utilizados durante sua viagem). Segundo Brasil (2008, p. 493-494), os ATIS podem ser utilizados para informar rotas, horários e itinerários aos usuários, contribuindo para reduzir a ansiedade dos usuários do sistema de transporte. Também permitem a eles planejarem suas viagens em qualquer ponto, necessitando apenas um dispositivo como um *smartphone* para descobrir horários em tempo real e estimativa de chegada de veículos, além de poderem aproveitar melhor seu tempo executando outra atividade até a chegada em seu destino (Figura 9).

Figura 9– Informações de horários e rotas ao usuário

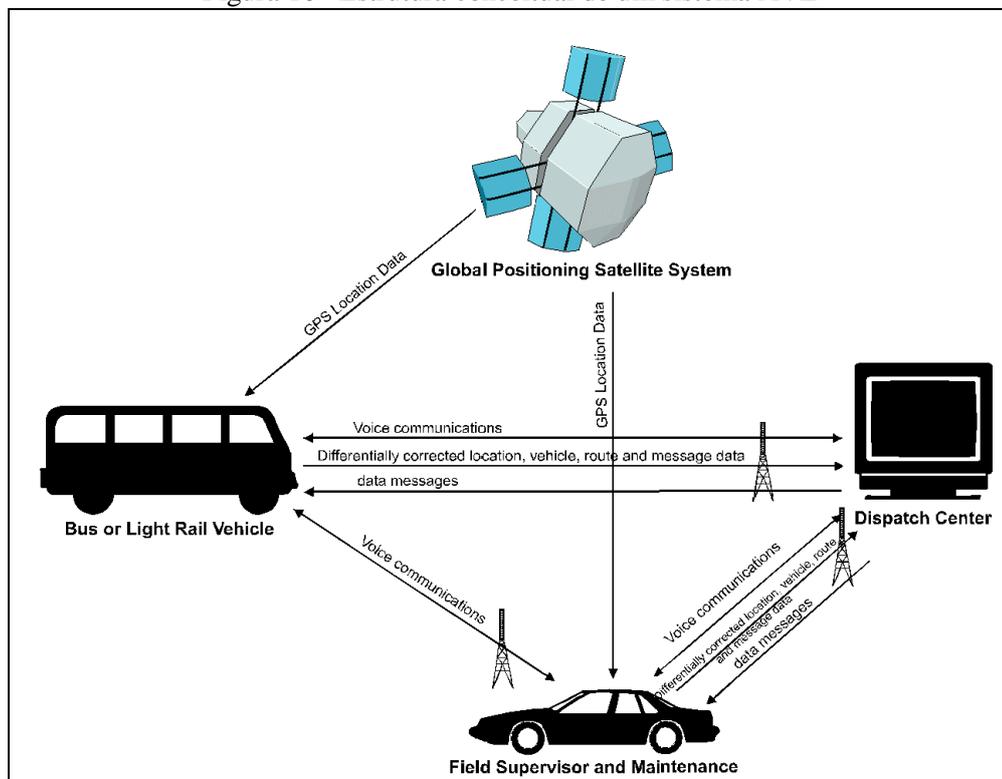


Fonte: Brasil (2008, p. 494).

Os AVM são sistemas que permitem obter informações a respeito de tarifas, localização e condição física de veículos, sendo os mais utilizados os que permitem a localização de veículos, que são os sistemas *Automatic Vehicle Location* (AVL). A partir de vários meios como *beacons* de proximidade, estimativa ou satélites, os sistemas AVL permitem fornecer melhores informações de assiduidade e melhor resposta a emergências.

Atualmente, o uso de GPS em combinação com a tecnologia GPRS tem sido o mais utilizado, pois oferece facilidade de instalação, não requerendo infra-estrutura específica, sendo necessário instalar apenas equipamentos nos veículos, bem como fornece também comunicação bidirecional entre o motorista do veículo e o centro que recebe os dados (Figura 10). Com o uso dos sistemas AVL no transporte coletivo, é possível detectar distorções nas grades horárias bem como aperfeiçoar as rotas, diminuindo atrasos, melhorando sua eficiência e gerando ganhos a satisfação dos usuários e a imagem das empresas prestadoras do serviço de transporte (WPLEX, 2007).

Figura 10– Estrutura conceitual de um sistema AVL



Fonte: Weatherford (2000).

Por fim, os AFP são sistemas utilizados para automatização de processos de pagamentos, tendo como impacto direto a diminuição de tempos de espera, inconveniência e diminuição de faltas de pagamentos dos usuários (Figura 11). Um exemplo de AFP são os sistemas de bilhetagem eletrônica, geralmente utilizada através de cartões eletrônicos específicos (HANSEN; QURESHI; RYDEWSKI, 2015).

Figura 11– Exemplo de bilhetagem eletrônica através de cartão específico

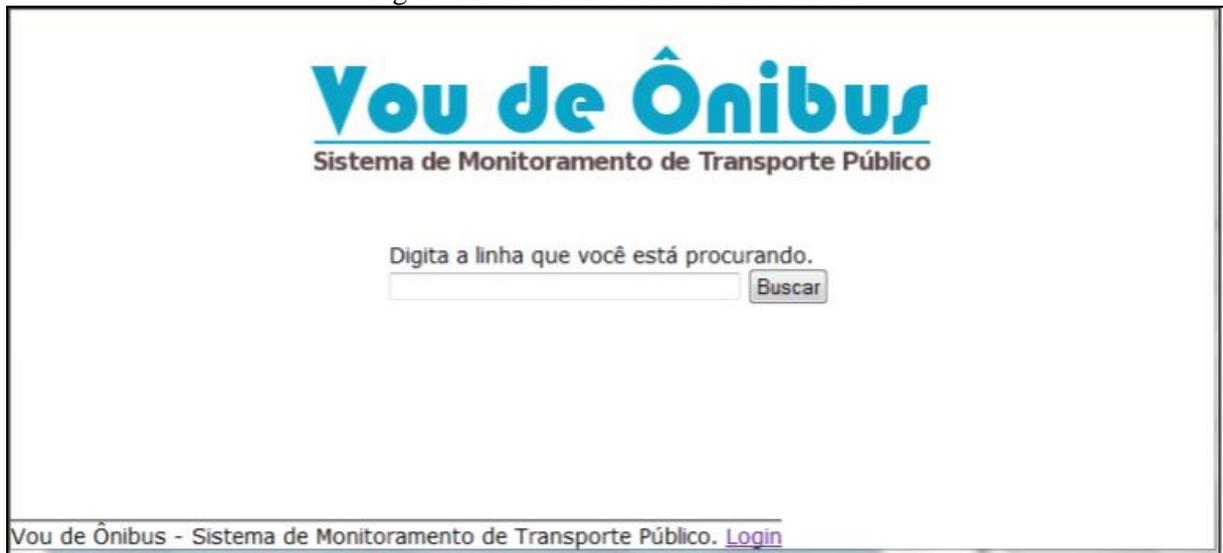


Fonte: Blog do Pávulo (2013).

2.5 VOU DE ÔNIBUS

O Vou de Ônibus foi um trabalho de conclusão de curso da FURB elaborado por Bruno César Barellibet (2013). Sua ideia principal foi a elaboração de um sistema que permitisse o monitoramento de transporte público através de sistema GPS e GPRS. Suas principais funções consistiam em uma interface web que permitia acesso dos usuários ao sistema e aos administradores do mesmo a manutenção dos dados, um módulo de monitoramento e aparelhos GPS específicos que, quando configurados, transmitiam os dados de localização para o módulo de monitoramento. A Figura 12 mostra a tela inicial do trabalho.

Figura 12– Tela inicial do Vou de Ônibus



Fonte: Barellibet (2013).

Nesta tela, usuário pode digitar dados como nome ou número de uma linha para visualizar os itinerários correspondentes a esta linha. Já ao clicar em um itinerário, são mostradas as paradas e ônibus em percurso (Figura 13), onde a imagem de um ônibus indica de qual parada este mesmo ônibus está mais próximo.

Figura 13– Dados de um itinerário selecionado



Fonte: Barellibet (2013).

Já seu módulo administrativo (Figura 14), acessível na página inicial através da opção “Login”, permite que os administradores façam a manutenção de linhas, itinerários, paradas, ônibus, aparelhos, empresas, ruas e bairros. Neste aspecto, o sistema é bem intuitivo, onde cada página do módulo administrativo possui as instruções de como proceder na própria tela.

Figura 14– Página principal do módulo administrativo do Vou de Ônibus



Fonte: Barellibet (2013).

O trabalho cumpre todos os seus aspectos propostos. Porém, notou-se a importância de expansão em diversos pontos, como: 1) melhoria na precisão da localização, pois apenas indicar o ponto mais próximo não é o suficiente; 2) melhoria dos aspectos de abertura do sistema à melhor integração com outros serviços; 3) visualização em mapas; 4) predição de

tempo de passagem das linhas; 5) melhor acessibilidade aos usuários finais que fazem utilização de dispositivos móveis, para melhor utilização do sistema onde o mesmo é realmente necessário.

2.6 TRABALHOS CORRELATOS

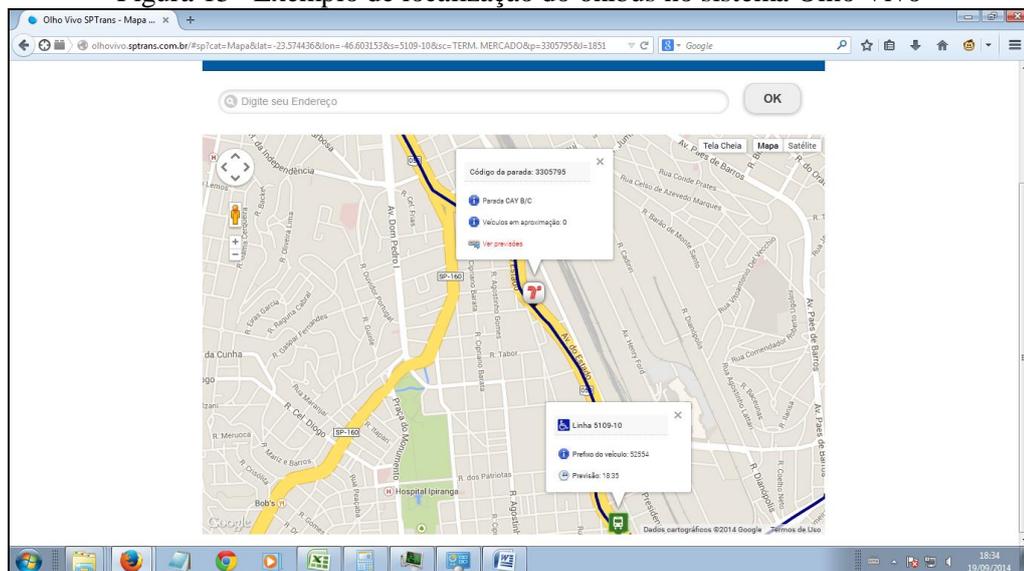
A seguir estão relacionados três trabalhos correlatos ao proposto. A Seção 2.6.1 detalha o Olho Vivo, sistema desenvolvido pela empresa SPTrans para a cidade de São Paulo. A Seção 2.6.2 detalha o Itibus e o Google Transit, mantidos pela URBS de Curitiba. Por fim a Seção 2.6.3 detalha o UbibusRoute, um trabalho acadêmico funcional.

2.6.1 Olho Vivo SPTrans

Desenvolvido pela SPTrans e implantando no ano de 2008 em São Paulo, é um sistema de monitoramento de transporte servindo para disponibilizar informações de localização e estimativas de tempo aos usuários de transporte coletivo (SPTRANS, 2014a).

A partir do sistema Olho Vivo, o usuário pode descobrir a velocidade média de circulação dos ônibus tanto na cidade quanto em itinerários específicos, tempo médio de chegada a determinado ponto, tempo médio de trajeto e ter a visualização em um mapa dos pontos com maior ou menor lentidão e os ônibus e suas respectivas localizações (Figura 15). É possível também acompanhar um ou mais ônibus em específico para descobrir suas localizações e trajetos e verificar a estimativa de tempo para determinado itinerário a partir da indicação de um ponto.

Figura 15– Exemplo de localização do ônibus no sistema Olho Vivo



Por fim, o Olho Vivo oferece ainda uma API para acesso aos dados do sistema, voltada a desenvolvedores de sistema. Por meio dela, podem ser efetuadas consultas e disponibilizar

suas informações a usuários de outros sistemas. Para utilização da API, é necessário o cadastro junto a SPTrans (SPTRANS, 2014b).

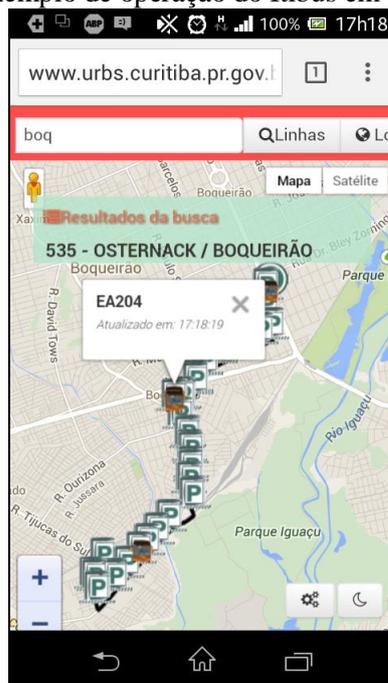
Embora a ferramenta seja bem completa, a mesma funciona apenas em navegadores de Internet, notando-se a ausência de um aplicativo específico desenvolvido pela SPTrans voltado para *smartphones*. Os aplicativos disponíveis para *smartphones* fazem uso da API do Olho Vivo apenas, mas são todos desenvolvidos por terceiros, sendo que não há um específico, o que dificulta a escolha do usuário.

2.6.2 Curitiba: Itibus e Google Transit

A prefeitura de Curitiba possui o serviço de monitoramento de sua frota do transporte coletivo desde 2007. Dentre estas informações, ela disponibiliza o posicionamento dos ônibus, estimativa de tempo para chegar a determinado destino e um mapa de trânsito relativo as principais rotas. Estas informações estão disponibilizadas através de dois serviços: Itibus e Google Transit (URBS, 2014a).

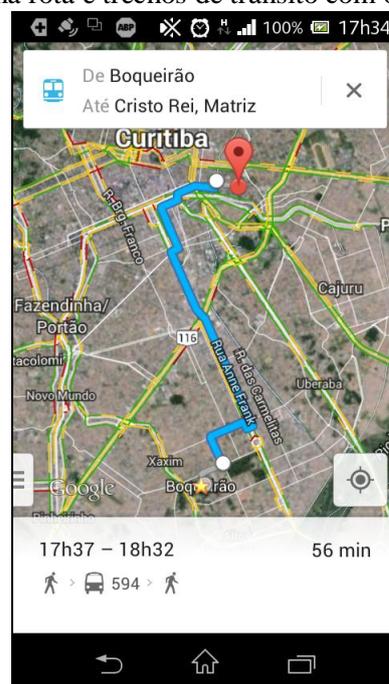
O Itibus, desenvolvido pela prefeitura de Curitiba, utiliza as informações de GPS já existentes nos ônibus para mostrar o posicionamento de um ônibus em determinado itinerário. Por meio dele o usuário pode selecionar determinado itinerário, os seus respectivos pontos de parada, a localização dos ônibus operando para aquele itinerário e o status dos mesmos (Figura 16). Entretanto, serve apenas para visualização destas informações.

Figura 16– Exemplo de operação do Itibus em um smartphone



O Google Transit é um serviço desenvolvido pela Google, que utiliza o Google Maps para mostrar informações relativas a trânsito. Ele permite que cidades que façam parceria com a empresa possam alimentar o sistema com informações, provendo essas informações aos usuários de qualquer plataforma que tenha acesso ao serviço Google Maps. Este é outro serviço bem completo, pois permite ao usuário selecionar origem e destino, mostra diversas rotas possíveis, com estimativas de tempo a partir do ponto que o usuário estiver, mostra os pontos de parada do transporte coletivo e permite a visualização de trechos com mais ou menos trânsito (Figura 17).

Figura 17– Visualização de uma rota e trechos de trânsito com o Google Maps e Google Transit



Embora seja bem completo e definitivamente o serviço com maior disponibilidade para dispositivos móveis atualmente, este serviço não permite a visualização em tempo real da posição dos ônibus para o usuário. Deste modo, neste aspecto os serviços Itibus e Google Transit tornam-se complementares (URBS, 2014b).

2.6.3 UbibusRoute

O UbibusRoute foi um trabalho desenvolvido no ano de 2012 por alunos da Universidade Federal de Pernambuco em conjunto com alunos da Universidade Federal da Bahia. Sua proposta é ser uma ferramenta colaborativa de localização de ônibus e pontos de trânsito em Recife-PE. Ao contrário de outros trabalhos do gênero, ele não utiliza como fonte de localização GPS instalados nos ônibus, mas sim informações fornecidas pelos usuários através da rede social Twitter (LIMA, 2012).

O aplicativo permite filtrar uma rota a partir de preço, distância ou tempo. Como o aplicativo considera trânsito, o mesmo pode sugerir uma rota que esteja menos congestionada que as demais para o usuário. Ao selecionar uma rota, o aplicativo permite ao usuário visualizar informações sobre a mesma.

Embora o aplicativo forneça informações relativas ao tempo de trajeto em uma via, essa informação não pode ser considerada confiável, uma vez que a mesma é estática. O grande ponto de destaque é que como o aplicativo constantemente procura na rede social Twitter informações relativas a trânsito, o usuário pode saber facilmente se há ou não trânsito em determinado trecho. No entanto, deve-se observar o tempo de atualização dessas informações, que pode ser considerado alto (20 minutos).

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, estão descritas as especificações técnicas do software proposto, com seu respectivo levantamento de requisito, especificação, descrição de técnicas e ferramentas utilizadas no desenvolvimento, bem como seu funcionamento após desenvolvimento concluído.

3.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

Este trabalho propõe-se a fornecer, em tempo real, informações ao usuário do transporte coletivo através do uso das tecnologias GPS e GPRS, de modo acessível através de um *smartphone* com acesso à internet. Para atender às necessidades acima expostas, o trabalho fornece algumas funcionalidades, sendo elas o posicionamento de ônibus, horários, rotas e previsão de tempo de chegada. Para isso, este trabalho é composto de três partes:

- a) um serviço web responsável pelo recebimento, processamento, armazenamento e fornecimento de informações relativas aos ônibus, rotas e horários;
- b) um aplicativo monitor, desenvolvido para a plataforma de *smartphones* Android, o qual será utilizado pelo operador do veículo de transporte coletivo para informar o itinerário e ônibus atualmente em percurso, permitindo a localização deste veículo;
- c) um aplicativo também para a plataforma de *smartphones* Android, destinado ao usuário final, que será utilizado para verificar linhas, rotas, horários e localização de ônibus, bem como conseguir previsões de horários. As informações iniciais do sistema foram obtidas através de uma base de dados inicial, mas há a implementação de rotinas do serviço web que permitem a partir do desenvolvimento de uma interface específica para esta funcionalidade a manutenção dos dados por um eventual administrador do sistema.

O sistema foi pensado com foco em fornecer de uma maneira prática e intuitiva informações para os usuários, permitindo que eles tenham maior precisão no planejamento de suas viagens.

3.2 ESPECIFICAÇÃO

Neste tópico, serão apresentados os Requisitos Funcionais (RF), os requisitos não funcionais (RNF), um diagrama de casos de uso, diagrama de atividades para o processo de monitoramento e para o processo de localização de rotas para o usuário e um Modelo

Entidade Relacionamento (MER). Os diagramas foram desenvolvidos com o auxílio da ferramenta Enterprise Architect 7.5. Por fim, para a especificação, foram definidos os seguintes atores:

- a) Operador: ator responsável pelo uso do aplicativo para o ônibus;
- b) Usuário: ator que fará uso do aplicativo para o usuário final;
- c) Sistema externo: algum aplicativo que se comunica com o serviço, visando a manutenção da base de dados.

3.2.1 Requisitos do sistema

O quadro 2 apresenta os requisitos funcionais principais previstos do sistema e sua rastreabilidade, ou seja, vinculação com o(s) caso(s) de uso associado(s), estes apresentados na figura 18.

Quadro 2 – Requisitos funcionais do sistema e rastreabilidade

Requisitos funcionais	Casos de uso
Permitir a manutenção do cadastro de ônibus	UC01
Permitir a manutenção do cadastro das linhas dos ônibus	UC02
Permitir a manutenção do cadastro dos itinerários dos ônibus	UC03
Permitir a manutenção do cadastro dos pontos de parada dos ônibus	UC04
Permitir obter a localização a partir de aparelhos com GPS e acesso à internet	UC05, UC08, UC09
Permitir a visualização de um mapa com os pontos de parada e localização de ônibus, conforme linhas e itinerários	UC08
Permitir ao usuário consultar as linhas e os itinerários de ônibus	UC07
Oferecer ao usuário sugestões de itinerários e seus respectivos tempos restantes até passarem, dada uma localização e horário desejado	UC09
Enviar informações de localização do ônibus (aplicativo para o ônibus) ou do usuário (aplicativo para o usuário) obtida através de GPS via internet	UC05, UC06, UC09

O Quadro 3 lista os requisitos não funcionais previstos para o sistema.

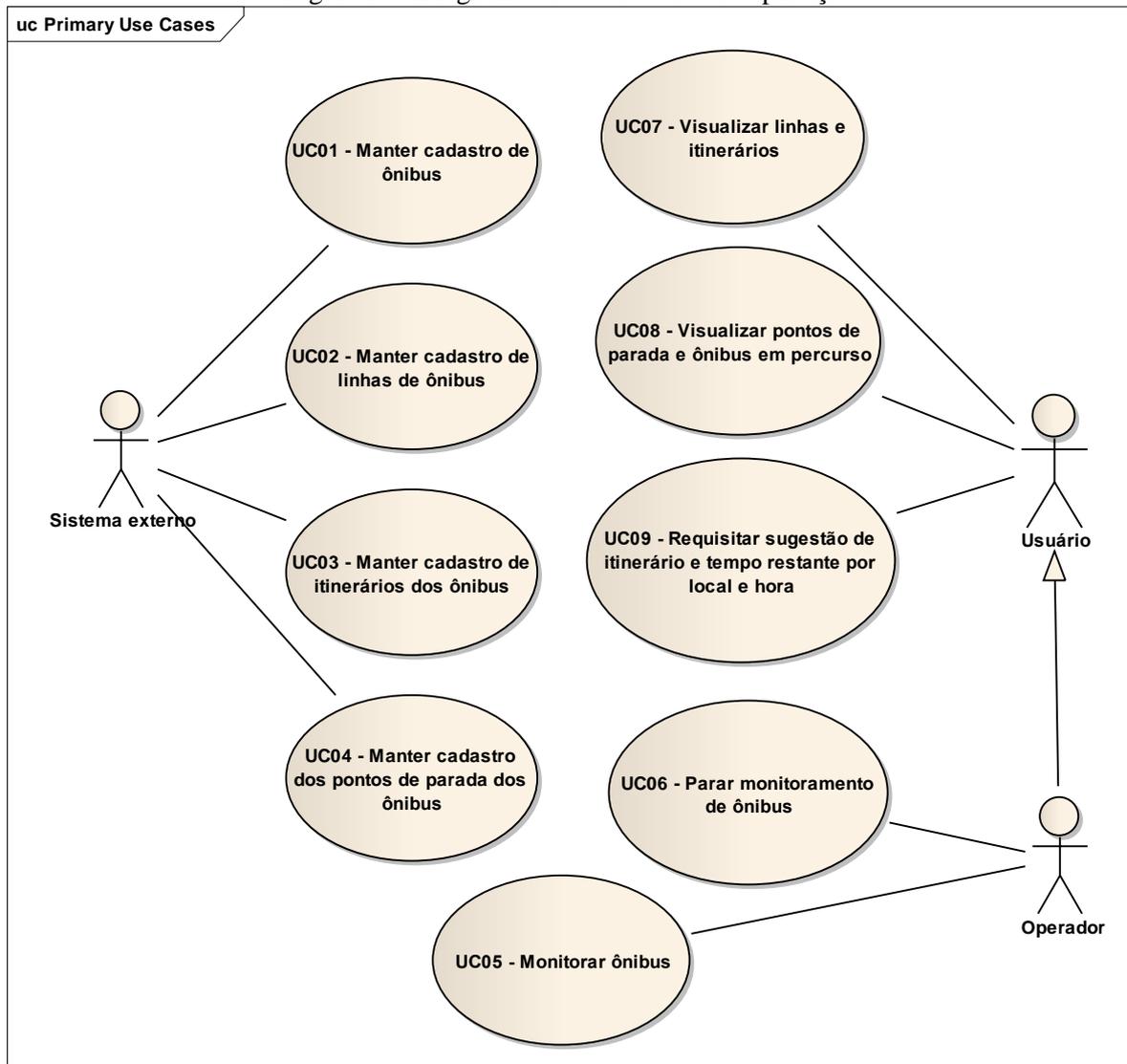
Quadro 3 – Requisitos não funcionais do sistema

Requisitos não funcionais
Utilizar a linguagem Java no aplicativo para <i>smartphone</i>
Utilizar a linguagem C# no servidor web de dados
Utilizar o banco de dados MongoDB para persistência de dados
Ser acessível a <i>smartphones</i> com sistema operacional Android 4.0 ou superior
Utilizar a tecnologia GPS para obter a localização dos ônibus e do itinerário

3.2.2 Diagrama de casos de uso

Na Figura 18, é mostrado o diagrama de casos de uso da aplicação. O detalhamento dos casos de uso está no Apêndice A.

Figura 18– Diagrama de casos de uso da aplicação

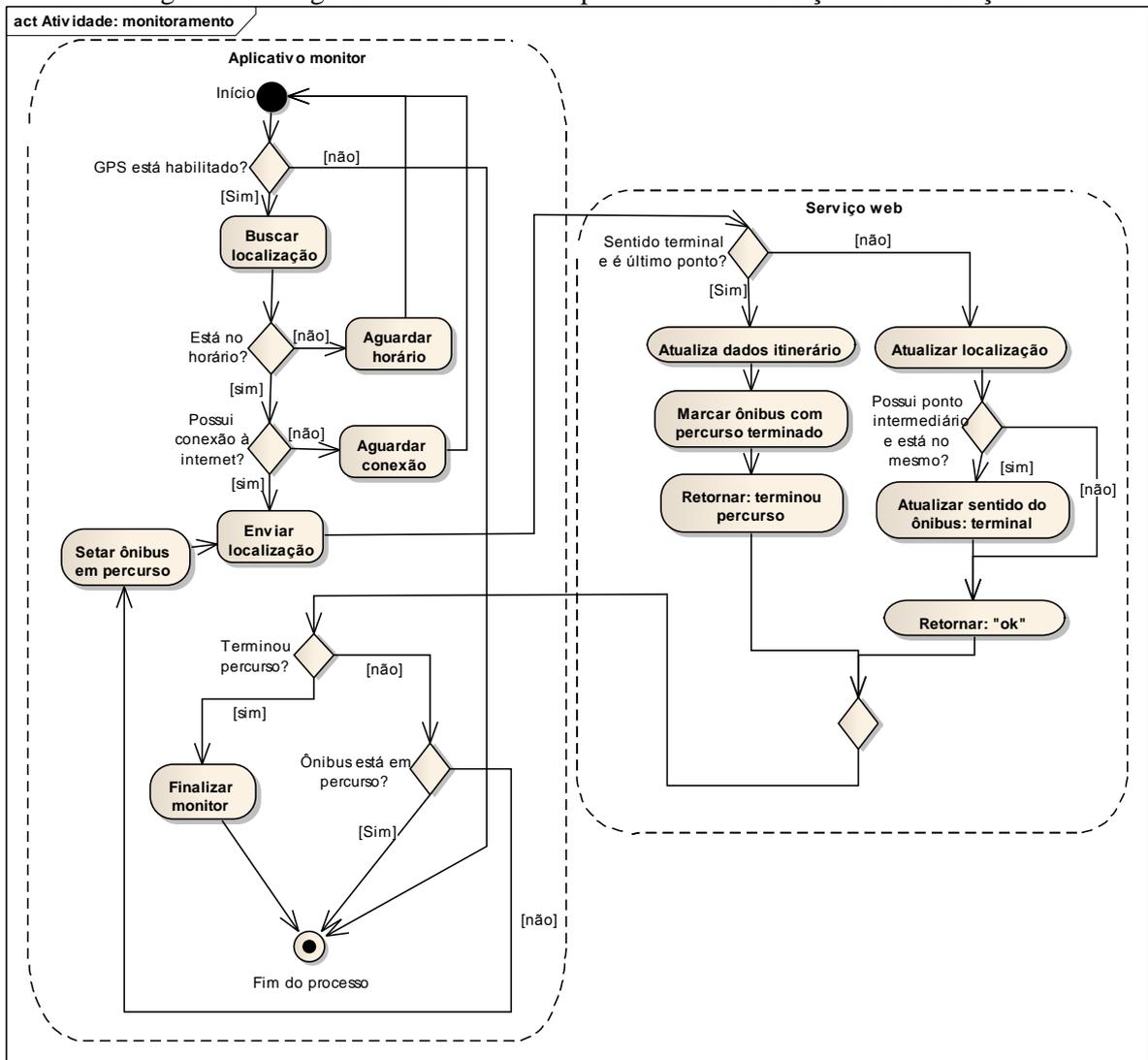


No diagrama exposto na Figura 18, os casos de uso 1 a 4 correspondem às operações de manutenção de dados, acessíveis pelo serviço web por meio da implementação de sistemas externos; os casos de uso 5 e 6 correspondem ao monitoramento de um ônibus e parada do monitoramento, ambos efetuados pelo operador do aplicativo monitor no ônibus; e os casos de uso 7 a 9 são funcionalidades para o usuário final do sistema, de modo que o mesmo possa obter os dados de linhas e itinerários, visualizar os ônibus e pontos de parada e obter rotas por meio de seu local.

3.2.3 Diagrama de atividades

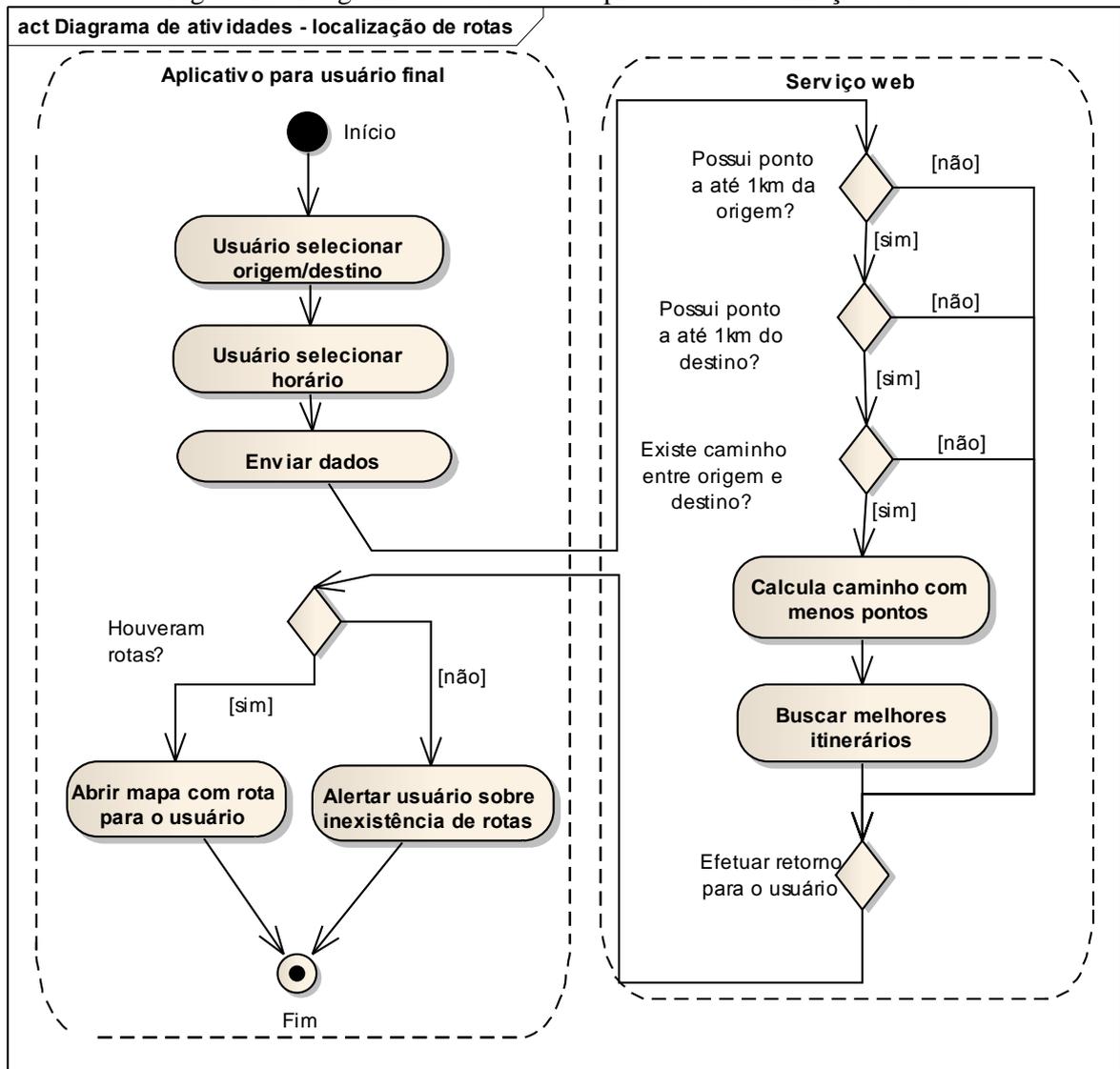
A Figura 19 mostra o diagrama de atividades que representa o processo de atualização da localização de um determinado ônibus por meio do aplicativo monitor.

Figura 19– Diagrama de atividades do processo de atualização de localização



A Figura 20 apresenta o diagrama de atividades do processo de localização de rotas para o usuário.

Figura 20– Diagrama de atividades do processo de localização de rotas



3.2.4 Modelagem dos dados a serem armazenados

Para este sistema optou-se por utilizar o MongoDB para a persistência dos dados porque é uma base de dados flexível e de fácil integração com os sistemas. O MongoDB é um banco de dados *Not Only SQL* (NoSQL), isto é, não possui restrições de esquema como outros bancos de dados relacionais (MONGODB Inc., 2015). Portanto, não é possível o desenvolvimento de um Modelo Entidade Relacionamento (MER) para o mesmo. A representação dos dados do sistema está descrita no Quadro 4 com base em modelos de documento em formato *JavaScript Object Notation* (JSON), que representam a estrutura básica dos dados utilizados pelo sistema dentro do banco de dados. Um dicionário dos dados está no Apêndice B.

Quadro 4 – Estrutura básica dos dados do sistema, em modelo de documento com formato JSON

```

Itinerario
{
  "_id" : ObjectID,
  "nome" : String,
  "descricao" : String,
  "linhaPertencente" : ObjectID
  "horario" : DateTime,
  "distancia" : Double,
  "velocidadeMedia" : Double,
  "atualizacoes" : Integer,
  "listaPontos" : [ObjectID],
  "pontoInicio" : ObjectID,
  "pontoMeio" : ObjectID,
  "pontoFim" : ObjectID
}

Linhas
{
  "_id" : ObjectID,
  "nome" : String,
  "descricao" : String
}

Onibus
{
  "_id" : ObjectID,
  "localizacao" : {
    "longitude" : Double,
    "latitude" : Double
  },
  "numero" : Integer,
  "itinerario" : ObjectID,
  "acessibilidade" : Boolean,
  "horaPartida" : DateTime,
  "horaChegada" : DateTime,
  "emPercurso" : Boolean,
  "sentido" : Integer
}

Ponto
{
  "_id" : ObjectID,
  "localizacao" : {
    "longitude" : Double,
    "latitude" : Double
  },
  "identificador" : String,
  "pontosProximos" : [ObjectID],
  "pontosAnteriores" : [ObjectID],
  "sentido" : Integer
}

```

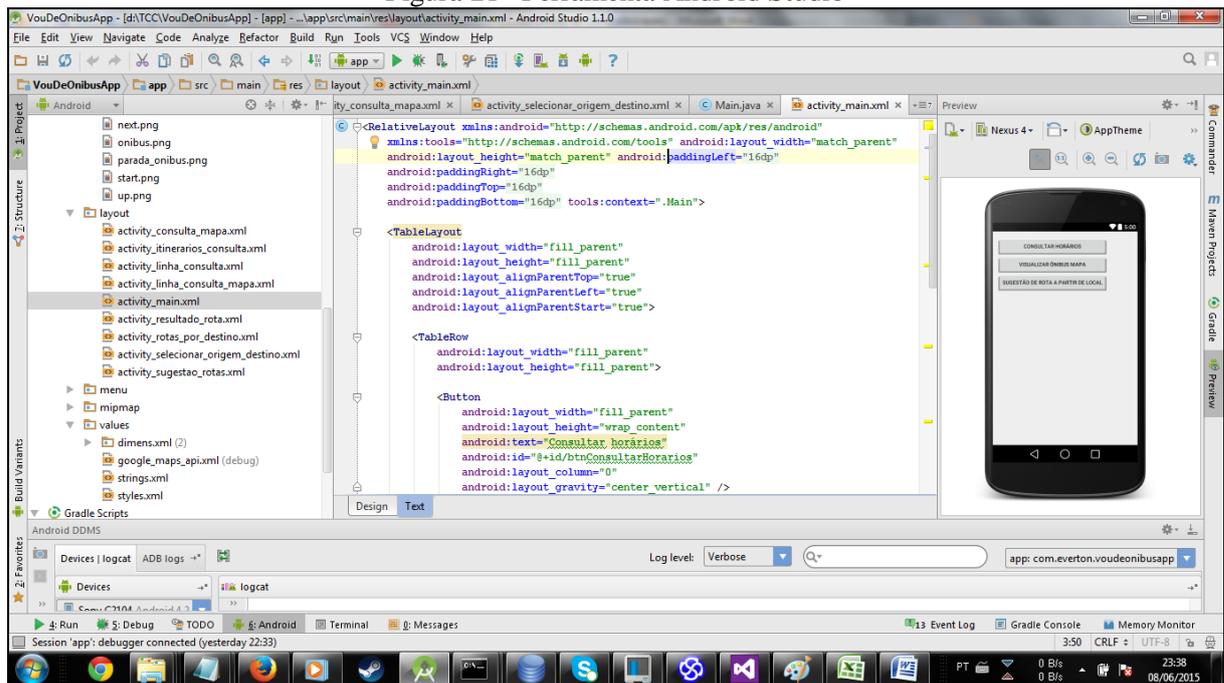
3.3 IMPLEMENTAÇÃO

A seguir são mostradas as técnicas e ferramentas utilizadas e a operacionalidade da implementação.

3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas

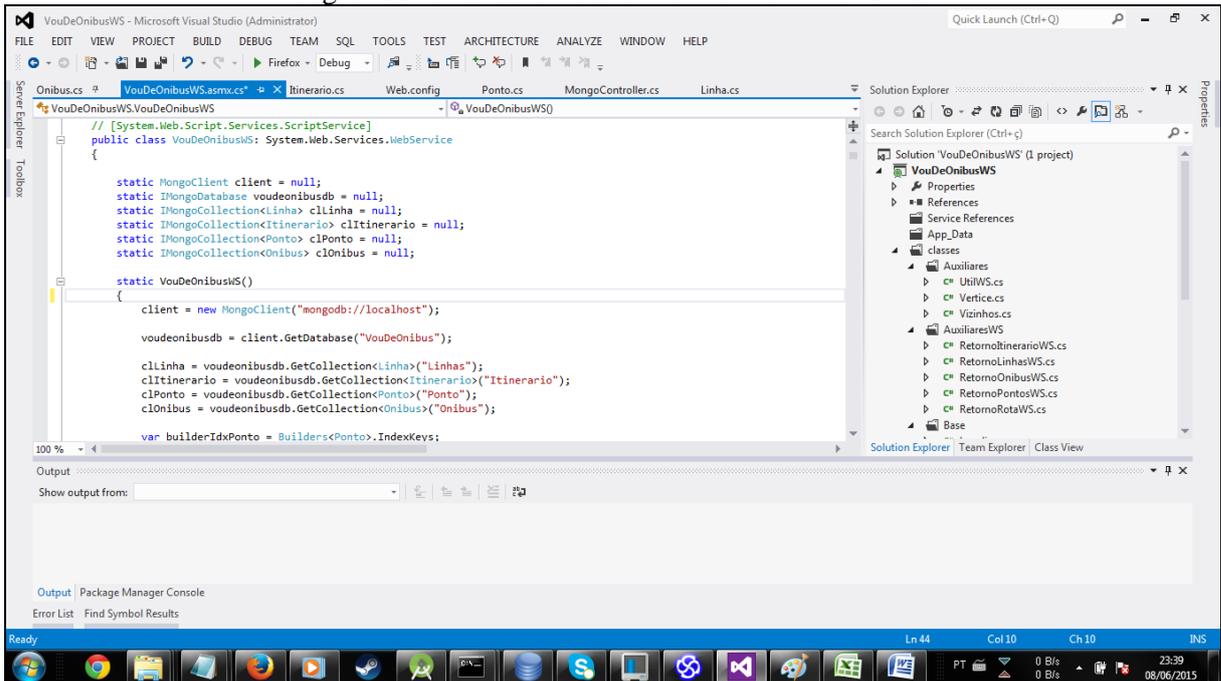
Para o desenvolvimento dos aplicativos para o usuário final e para os ônibus, além do serviço web, foram utilizadas as ferramentas Android Studio 1.1.0 e Visual Studio 2012. O Android Studio é uma ferramenta específica para codificação de aplicativos para a plataforma Android que trabalha com a linguagem Java. Seus recursos facilitam o desenvolvimento de aplicações móveis, bem como seus testes. A Figura 21 demonstra a ferramenta.

Figura 21– Ferramenta Android Studio



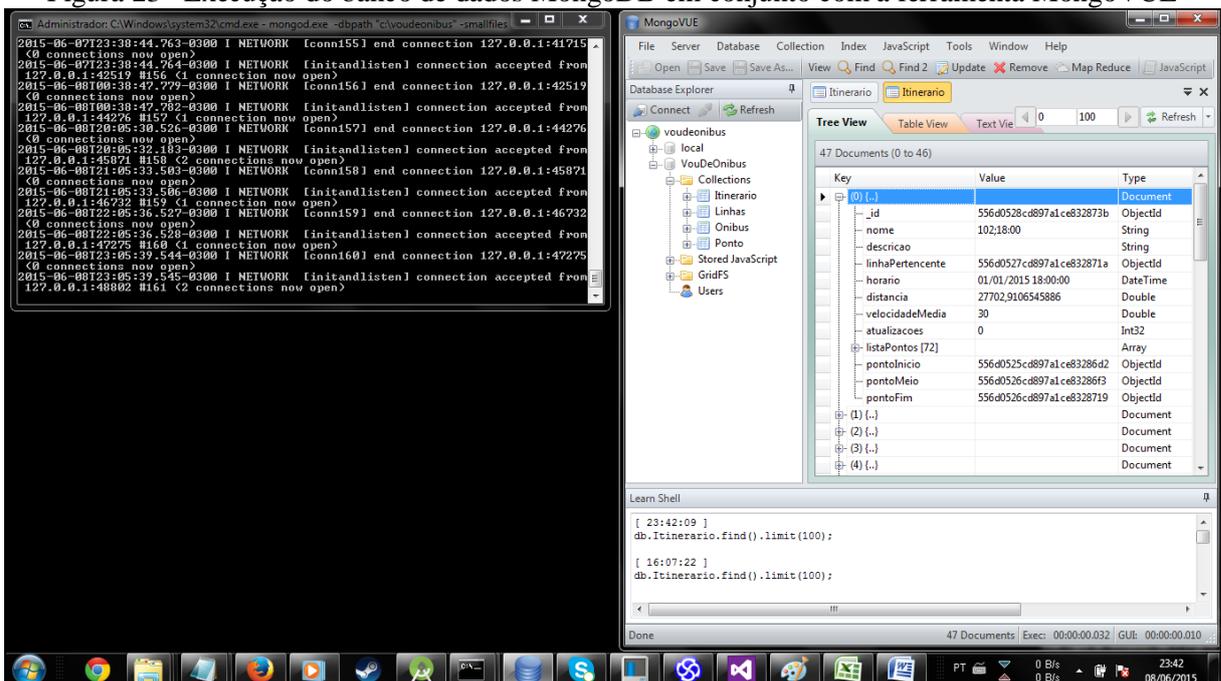
Por sua vez, o Visual Studio 2012 é uma ferramenta voltada à codificação de aplicativos para computadores rodando o sistema operacional Microsoft Windows e serviços web na linguagem C#. Foi utilizado para implementação do serviço web que foi responsável pelo armazenamento e processamento de dados da aplicação. A Figura 22 mostra a ferramenta.

Figura 22– Ferramenta Microsoft Visual Studio 2012



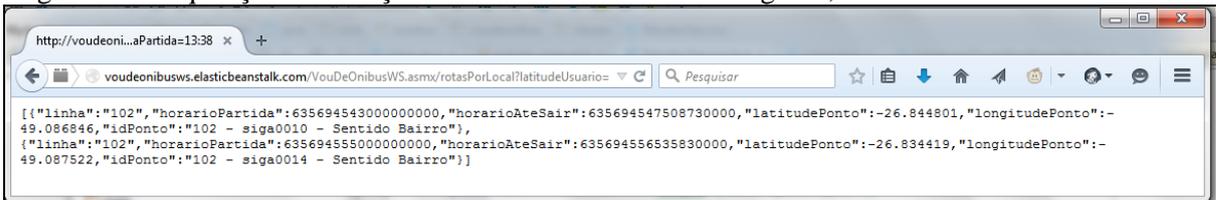
Como banco de dados, foi utilizado o MongoDB. Essa escolha foi feita por se tratar de um banco não relacional, o que dá flexibilidade em trabalhar com seus dados, e por possuir tratamentos nativos para funções relativas a geolocalização. Desse modo, foi possível utilizar dados de localização passados pelos ônibus e pontos de uma forma mais eficiente. Como sua execução é via linha de comando, utilizou-se a ferramenta MongoVUE que fornece uma interface gráfica para a visualização dos dados e realização de operações no banco de dados (Figura 23).

Figura 23– Execução do banco de dados MongoDB em conjunto com a ferramenta MongoVUE



A implementação da comunicação do serviço web com os aplicativos foi feita através de requisições HTTP, sendo que os dados são trafegados através do formato JSON (Figura 24). Este nada mais é do que um formato leve de troca de dados, implementado de modo a ser fácil de interpretar por humanos, fácil para que máquinas o gerem e traduzam e totalmente independente de linguagem de programação (ECMA INTERNATIONAL, 2013).

Figura 24– Requisição ao serviço web efetuada através de navegador, com retorno em formato JSON



Os aparelhos utilizados no rastreamento são *smartphones* que rodam a plataforma Android 4.0 ou superior e possuam GPS e conexão com a Internet. A escolha de *smartphones* em detrimento de um aparelho GPS específico se dá por ser um celular bem mais acessível, não demandar um hardware específico e permitir a flexibilização e aumento de funcionalidades da aplicação, caso necessário, algo que um aparelho específico para GPS não permitiria.

Para detecção da localização, foi acessado o próprio serviço de localização presente na grande maioria dos *smartphones* hoje. Este é utilizado através da API da própria plataforma Android, retornando os dados já formatados. Essa API também fornece bastante flexibilidade com a configuração do GPS_PROVIDER, pois é possível conseguir a posição sempre que houver mudança de posição ou houver mudança de posição em um tempo específico bem como em um intervalo de tempo. Além disso, fornece acesso ao recurso de A-GPS (NETWORK_PROVIDER), tanto pela rede 2G/3G quanto por redes *wifi* próximas (Quadro 5).

Quadro 5– Requisitando dados de localização de GPS e A-GPS

```

}
manager = (LocationManager) getSystemService(Context.LOCATION_SERVICE);
notificationManager = (NotificationManager) getSystemService(NOTIFICATION_SERVICE);
Listener listener = new Listener();

if(intent.getExtras()!=null){
    Bundle extras = intent.getExtras();

    numeroOnibus = Integer.parseInt(extras.getString("numeroOnibus"));
    horaPartida = (Date)extras.getSerializable("horaPartida");
    itinerarioOnibus = extras.getString("itinerarioOnibus");
}

long tempoAtualizacao = 0;
float distancia = 0;

manager.requestLocationUpdates(LocationManager.GPS_PROVIDER,
    tempoAtualizacao, distancia, listener);
manager.requestLocationUpdates(LocationManager.NETWORK_PROVIDER,
    tempoAtualizacao, distancia, listener);

```


Quadro 7– Trecho de código correspondente a rotina de localização de rotas

```

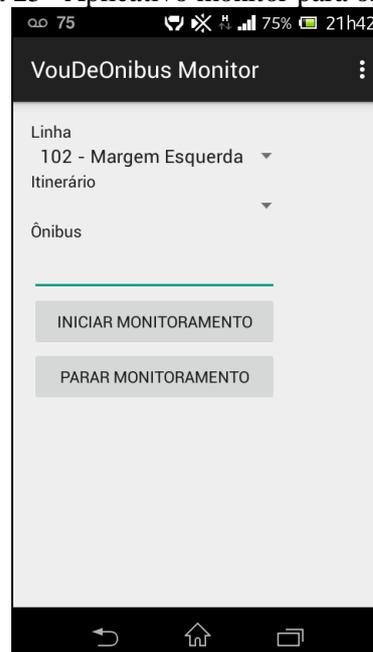
1139     }
1140
1141     [ScriptMethod(ResponseFormat = ResponseFormat.Json, UseHttpGet = true)]
1142     [WebMethod]
1143     public void rotasPorLocal(double latitudeUsuario, double longitudeUsuario, double latitudeDest, double longitudeDest)
1144     {
1145         List<Vertice> melhorCaminho = new List<Vertice>();
1146         Pesquisa se existe caminho...
1147         if (melhorCaminho.Count > 0)
1148         {
1149             rota = trataRotas(melhorCaminho);
1150         }
1151         else
1152         {
1153             Context.Response.Write(js.Serialize("Sem rotas!"));
1154             return;
1155         }
1156
1157         Verifica melhores itinerários para a rota
1158
1159         Trata as rotas encontradas para retorná-las ao usuário
1160
1161         //Retorna as rotas ao usuário
1162         Context.Response.Write(js.Serialize(retorno));
1163     }
1164 }

```

3.3.2 Operacionalidade da implementação

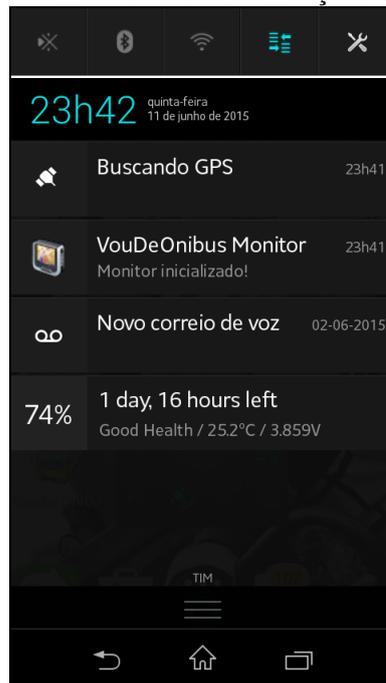
A operacionalidade da aplicação será apresentada em duas partes. Inicialmente, têm-se a aplicação que será utilizada nos próprios ônibus, conforme a Figura 25. Nesta tela há as opções de iniciar monitoramento e de parar monitoramento. Ao escolher iniciar monitoramento, será inicializado o serviço de monitoramento para a linha que o usuário selecionar e o ônibus identificado por ele (sendo que este ônibus terá que ser cadastrado previamente). Assim que o usuário selecionar uma linha serão mostrados os diversos itinerários, com seus respectivos horários, disponíveis para esta linha. Estando os dados corretamente selecionados, a aplicação aguardará a hora do itinerário e assim que esta for atingida, o aplicativo começará a enviar as informações de localização ao serviço web.

Figura 25– Aplicativo monitor para os ônibus



Nota-se que uma vez iniciado o monitoramento, seu status será passado na área de mensagens do próprio *smartphone* (Figura 26). Assim que o ônibus atingir seu destino final (por exemplo, o ponto final de um itinerário ou voltar ao terminal, no caso de uma linha circular), também será colocada uma notificação na área de mensagens do *smartphone*. A opção de parar o monitoramento está disponibilizada, pois serve para retirar de circulação do aplicativo um ônibus que tenha iniciado o percurso e enfrentado algum problema, como por exemplo, uma falha mecânica.

Figura 26– Detalhe da área de notificação do *smartphone*



Já a aplicação disponibilizada aos usuários do transporte coletivo está apresentada na Figura 27. Ela possui em sua tela principal as funcionalidades de consulta de horários, visualização de ônibus no mapa e sugestão de rotas a partir do local. A consulta de horários apresenta os horários de saída de ônibus de acordo com a linha e itinerário selecionado. Esta está em formato de lista, conforme a Figura 28.

Figura 27– Tela principal do aplicativo para o usuário

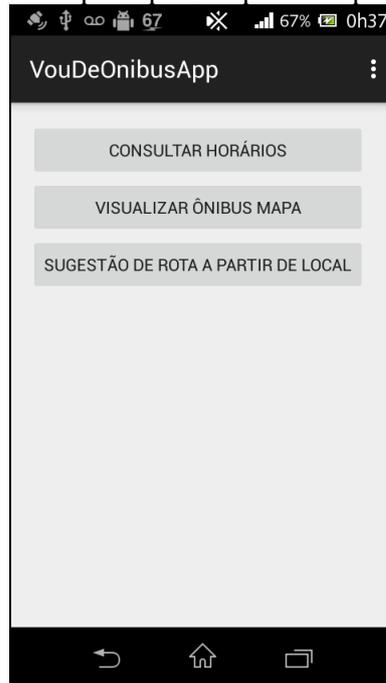
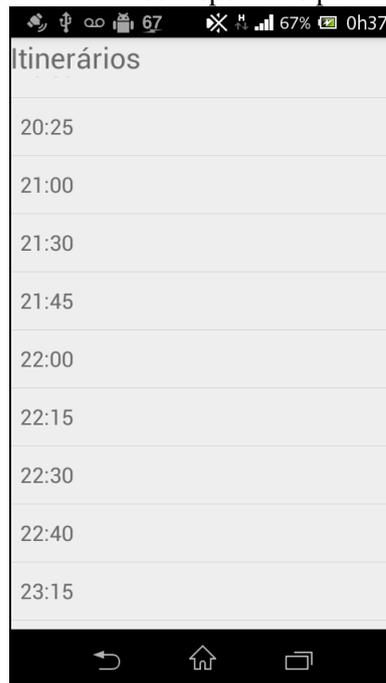


Figura 28– Listagem de itinerários disponíveis para uma determinada linha



Há também a possibilidade de visualizar o mapa para determinada linha. Para isso, o usuário seleciona a linha e com isso será aberto um mapa mostrando os pontos da linha e ônibus que estão em percurso para a mesma (Figura 29), bastando-se clicar em um ponto ou ônibus para ver detalhes a respeito do mesmo.

Figura 29– Mapa com pontos de todos ônibus para determinada linha



Por fim, podem-se verificar rotas por local e horário de saída. Para isso, selecionam-se os pontos de partida e destino no mapa e o horário, sendo que com isso será apresentado um mapa com o ponto de partida, terminais que eventualmente forem passados e ponto de destino (Figura 30), os quais podem também ser clicados para maiores informações.

Figura 30– Sugestão de rota para o usuário



3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na parte do monitoramento de ônibus, de modo geral, notou-se um pequeno atraso em relação à posição real de, aproximadamente até 10 segundos. Esse atraso é oriundo principalmente do tempo necessário para a sincronização entre os satélites GPS e o *smartphone* executando o monitoramento. No entanto, este atraso não chegou a influenciar de maneira significativa o resultado final da aplicação, pois a localização não muda muito considerando-se os ônibus do transporte coletivo. Ainda considerando a questão de localização, o uso do recurso A-GPS dos *smartphones* provou-se útil, principalmente quando ativo por uma rede *wifi*. No entanto, quando utilizado em uma rede de celular, apesar de em grande parte do tempo possuir precisão satisfatória, em alguns momentos trazia localizações distantes em centenas de metros, provando-se inviável utilizar o mesmo quando há a necessidade de precisão, principalmente durante o monitoramento.

Além disso, com relação à transmissão da localização, determinados locais tiveram atraso na transmissão via 3G, por cobertura deficiente das operadoras de celular. Nesse aspecto, a implementação da transmissão como serviço no *smartphone*, tentando retransmitir a localização continuamente, auxiliou a evitar a perda de dados e manter a localização atualizada. Por fim, o uso de redes *wifi* se provou inviável no processo de monitoramento, pelo fato destas redes em grande parte do tempo não estarem disponíveis ou quando o estão, serem fechadas, necessitando autenticação para o uso. Por outro lado, no processo de utilização pelo usuário final, as redes *wifi* melhoram a velocidade de obtenção das informações e de carregamento dos mapas em relação a uma rede de celular 2G ou 3G.

O Quadro 8 apresenta um comparativo entre as principais características dos trabalhos correlatos e do trabalho Vou de Ônibus (BARELLIBET, 2013) em relação ao proposto nesta monografia.

Quadro 8 – Comparativo entre os trabalhos correlatos

Característica/Trabalhos relacionados	Olho Vivo SPTrans	Itibus	Google Transit	UbibusRoute	Vou de Ônibus (BARELLIBET, 2013)	Vou de ÔnibusApp e Vou de Ônibus Monitor
Aquisição das coordenadas e localização via GPS	X	X	X		X	X
Estimativa de tempo em tempo real	X	X	X			X
Sugestão de rotas por origem e destino	X	X	X			X
Permite aquisição de dados através dos usuários do sistema				X		
Oferece informação relativa à intensidade do trânsito	X	X	X	X		
Possui visualização com mapas	X	X	X	X		X
Permite procura por itinerários específicos	X	X		X	X	X
Possui versão específica para dispositivos móveis	X	X	X (através do Google Maps)			X
Permite uso em outros aplicativos através de API/serviço	X		X			

Com base nas informações disponíveis no Quadro 8, nota-se a evolução em relação ao trabalho Vou de Ônibus (BARELLIBET, 2013). Os aspectos de estimativa de tempo em tempo real, mapas e versão para dispositivos móveis, que foram a proposta principal desta extensão foram atendidos. Além disso, a inclusão do serviço para permitir o uso em outros aplicativos vem como outra extensão, abrindo a possibilidade de expansão do sistema. Por fim, o aspecto de sugestão de rotas foi outra evolução, principalmente levando-se em conta que estas sugestões não são baseadas em tempos estáticos, mas sim com os tempos obtidos através do constante acompanhamento e atualização da velocidade da linha.

Em comparação aos outros trabalhos avaliados, nota-se que o Olho Vivo SPTrans ainda é o mais completo por contar com informações relativas a intensidade do trânsito. Já em relação aos demais trabalhos, nota-se que o proposto perde para o Itibus, Google Transit e Ubibus Route apenas no aspecto de intensidade do trânsito, atendendo todos os demais critérios avaliados. Ainda no caso do Ubibus Route, o trabalho proposto não implementa a aquisição de dados através de usuário, porém este aspecto, além de não prover grande

confiabilidade para a necessidade proposta, também requer a participação ativa dos usuários no sistema, o que em grande parte do tempo pode não ser alcançado.

Quanto ao equipamento de monitoramento e obtenção de localização, para o Olho Vivo SPTrans, Itibus e Google Transit, não foi possível obter dados a respeito do mesmo. Já o Ubibus Route apenas faz o monitoramento via rede social Twitter e o Vou de Ônibus (BARELLIBET, 2013) utiliza um aparelho GPS Tracker, enquanto o trabalho proposto utiliza *smartphones* com sistema operacional Android 4.0 ou superior.

4 CONCLUSÕES

Com a crescente demanda do transporte de pessoas nos centros urbanos, é aberta a possibilidade do desenvolvimento de novas tecnologias visando o atendimento de necessidades de maneira pró-ativa e melhorando os serviços já existentes. Nesse sentido, o desenvolvimento de um aplicativo de informações do transporte coletivo voltado ao usuário final se faz útil por atender uma necessidade crescente de informações por parte dos usuários do transporte público, bem como possibilitar aos mesmos um melhor aproveitamento dos serviços já existente.

O objetivo de desenvolver uma aplicação que informe ao usuário a localização de ônibus em determinado itinerário foi satisfeito e foi possível ir além, acrescentando-se também dados de sugestão de rotas e previsão de tempo, por meio da atualização da velocidade dos ônibus conforme os mesmos concluem seus trajetos em determinado itinerário. Estas informações tornam-se uma poderosa ferramenta para o usuário final possuir melhor planejamento em seus trajetos, poupando quantidade considerável de tempo que de outro modo, seria perdido na espera dos ônibus.

As ferramentas e tecnologias escolhidas podem ser consideradas adequadas, fornecendo capacidade significativa de expansão. Bancos de dados NoSQL, como o MongoDB, são conhecidos por possuírem velocidade superior a bancos de dados relacionais, permitindo crescimento significativo da quantidade de ônibus e usuários que efetuam consultas no sistema sem problemas significativos de performance. Embora sua utilização seja complexa em um primeiro momento por utilizar um paradigma diferente dos bancos de dados relacionais, suas vantagens para a aplicação escolhida justificaram a escolha e pesquisa necessária para seu uso. As questões relacionadas à transmissão de dados de localização também geraram necessidade de pesquisa, pois nesses casos é necessário lidar com a intermitência de conexão. Já o uso de *smartphones* para o monitoramento do ônibus abre também a possibilidade de expansão para acréscimo de funcionalidades que hoje são executadas manualmente por cobradores e motoristas. Por fim, a implementação de um serviço web abre a possibilidade de integração com aplicativos e ferramentas de terceiros, nas quais as informações podem ser disponibilizadas por mais de um aplicativo ou ferramenta, bem como pode haver outras fontes para obter dados.

No âmbito social, a pesquisa de informações mostrou a importância do incentivo de meios de transporte coletivo e seu impacto positivo na mobilidade urbana de um município,

bem como a importância de um sistema de informações para o usuário final. Nesse sentido, o desenvolvimento de aplicações relacionadas é um incentivo ao uso do mesmo.

Portanto, ao concluir com sucesso o desenvolvimento de um aplicativo para monitoramento do transporte coletivo e disponibilização destas informações ao usuário final, nota-se que um importante passo foi dado no sentido de prestar melhores informações aos usuários do transporte coletivo. Faz-se necessária a evolução destas tecnologias para que haja ainda mais incentivos, auxiliando a evitar um possível colapso da mobilidade urbana por utilização de meios de transportes não adequados e que possuem taxas de ocupação e aproveitamento muito menor por parte dos usuários.

4.1 EXTENSÕES

No decorrer do desenvolvimento do trabalho, foram observados alguns aspectos que podem ser aprimorados.

Um primeiro aspecto é o uso de redes neurais para predição do tempo. Há a possibilidade de utilizar pesos para fatores, como trechos com muitos cruzamentos, muitos passageiros, sinalleiras que fecham por períodos de tempo longos, entre outros, eliminando pontos de distorção, que seriam trechos cuja velocidade é mais alta ou baixa e por consequência, o tempo previsto pelo sistema hoje não se apresenta como correto.

O segundo aspecto é o desenvolvimento de uma interface mais amigável para manutenção dos dados, de modo que seja possível via web ou *smartphone* do operador atualizar os dados do sistema, sem o desenvolvimento de sistemas externos.

Um terceiro aspecto é a obtenção de dados de localização através de sistemas externos. Como o sistema possui o serviço web, bastaria que o sistema externo estivesse devidamente desenvolvido e seria possível adicionar os dados não apenas através do aplicativo monitor.

Por fim, sugere-se a possibilidade de armazenar todos os pontos de localização na qual determinado ônibus passa, podendo-se utilizar algoritmos de mineração de dados para obtenção de pontos de gargalo, sendo possível com isto obter dados de intensidade de trânsito por dia da semana e horário.

REFERÊNCIAS

- ALECRIM, Emerson. **O que é Wi-Fi (IEEE 802.11)?**. [S.I.], 2013. Disponível em: <<http://www.infowester.com/wifi.php>>. Acesso em: 05 abr. 2015.
- ANTP. Sistemas Inteligentes de Transportes. **Série Cadernos Técnicos**, São Paulo, v. 8, maio 2012. Disponível em: <http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/03/18/9AB9A3EB-97DC-4711-9751-162AD361D7F0.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2015.
- BALASUBRAMANIAN, Aruna; MAHAJAN, Ratul; VENKATARAMANI, Arun. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE SYSTEMS, APPLICATIONS, AND SERVICES, 8, 2010, San Francisco. **Proceedings...**: San Francisco, ACM, 2010. p. 209-222. Disponível em: <<http://research.microsoft.com/pubs/135671/mobisys2010-wiffler.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2015.
- BARELLIBET, Bruno C. **Sistema de monitoramento de transporte público utilizando as tecnologias GPS e GPRS**. 2013. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) – Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- BITTENCOURT, Guilherme R. **Sistemas avançados de transporte público: análise das tecnologias empregadas na cidade de Porto Alegre**. 2000. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BLOG DO PÁVULO. **Bilhetagem eletrônica representa 46,92% dos usuários de ônibus em Manaus | Pávulo**. Amazonas, 2013. Disponível em: <<http://blogdopavulo.blogspot.com.br/2013/07/bilhetagem-eletronica-representa-4692.html>>. Acesso em: 09 jun. 2015.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional do Transporte e da Mobilidade Urbana. Serviço ao usuário. **Manual do BRT – Bus Rapid Transit: guia de planejamento**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/Biblioteca/ManualBRT.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2015.
- CALAIS, E. **The global positioning system** West Lafayette, 2005. Disponível em: <http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/teaching/geodesy/GPS_observables.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2015.
- CEDER, Avishai. **Public transit planning and operation: theory, modeling and practice**. Burlington: Elsevier, 2007. Disponível em: <http://www.chinautc.com/information/manage/UNCC_Editor/uploadfile/20091110111131356.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2015.
- CIPOLI, P. **Entenda todas as tecnologias dos smartphones – Parte 01 – Bluetooth, GPS e USB - Smartphones**. [S.I.], 2014. Disponível em: <<http://canaltech.com.br/materia/smartphones/Entenda-todas-as-tecnologias-dos-smartphones-Parte-01-Bluetooth-GPS-e-USB>>. Acesso em: 14 set. 2014.
- CLOVE TECHNOLOGY. **Guide to GSM, GPRS, EDGE, 3G, HSDPA, DSPA (plus) and LTE - Review from Clove Technology**. [S.I.], [2015?]. Disponível em: <<http://www.clove.co.uk/viewtechnicalinformation.aspx?content=3B2BD491-6465-4C70-ABDB-5A12A06C3D8D>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

DEY, Teesta. **GPS Applications in Transportation System**. Kolkata, [2015?]. Disponível em: <http://www.academia.edu/3862629/GPS_Applications_in_Transportation_System>. Acesso em: 05 abr. 2015.

ECMA INTERNATIONAL. **JSON**. [S.I.], 2015. Disponível em: <<http://json.org/>>. Acesso em: 09. jun. 2015.

FIGUEIREDO, Lino et al. Towards the development of intelligent transportation systems. In: Intelligent Transportation Systems, 4., 2001, Oakland. **Proceedings...** Oakland: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001, p. 1206-1211. Disponível em: <http://www.universelle-automation.de/1984_Columbus.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2015.

FLICKENGER, Rob. **WiFi Networking Architecture**. [S.I.], 2006. Disponível em: <http://wireless.ictp.it/School_2006/lectures/Rob/NetArchitecture/index.html>. Acesso em: 05 abr. 2015.

HANSEN, Mark; QURESHI, Mohammad; RYDEWSKI, Daniel. **Improving transit performance with advanced public transportation system technologies**. University of California Transportation Center, 1994. Disponível em: <<http://www.uctc.net/papers/392.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

IBGE. **IBGE | Cidades | Infógrafos | Santa Catarina | Blumenau | Dados Gerais**. [S.I.], 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=420240>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Bus systems for the future: Achieving sustainable transport worldwide**. Paris, 2002. Disponível em: <<http://library.umac.mo/ebooks/b13623126.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

KEEP IN TOUCH. **GSM Architecture and Definitions (1) - Keep In Touch**. [S.I.], 2011. Disponível em: <<http://keepontouch-en.blogspot.com.br/2011/11/gsm-architecture-and-definitions.html>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

KOBER, R. **Daddy's Bob Computer Q & A**. Pine Mountain, 2013. Disponível em: <<http://daddybob.com/articles/Wireless80211.htm>>. Acesso em: 09 jun. 2015.

LACERDA, Sander Magalhães. Precificação de congestionamento e transporte coletivo urbano. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 23, p. 85-99, 2006.

LIMA, Vanessa G. et al. Ubibus Route: Um Sistema de Identificação e Sugestão de Rotas de Ônibus Baseado em Informações de Redes Sociais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO. 8., 2012, Recife, **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2012. p.516-527

MEIRELLES, Alexandre. A. C. **Sistemas de Transportes Inteligentes: aplicação da telemática na gestão do trânsito urbano**. Belo Horizonte, abr. 2010. Disponível em: <http://www.ip.pbh.gov.br/ANO1_N1_PDF/ip0101meirelles.pdf>. Acesso em: 04 set. 2014.

MICROSOFT. **How 802.11 Wireless Works: Wireless**. [S.I.], 2003. Disponível em: <<https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757419%28v=ws.10%29.aspx>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

MONGODB, INC. Document Databases | MongoDB. Disponível em: <<https://www.mongodb.com/document-databases>>. Acesso em: 11 jun. 2015.

MOREIRA, André. **Transmissão de dados digitais**. Porto, 2007. Disponível em: <<http://www.dei.isep.ipp.pt/~andre/documentos/transmissao-dados.html>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

POOLE, Ian. **GPS Accuracy | Errors & Precision | Radio-Electronics.Com**. [S.I.], 2015b. Disponível em: <<http://www.radio-electronics.com/info/satellite/gps/accuracy-errors-precision.php>>. Acesso em: 17 jun. 2015.

_____. **GPS Technology | Tutorial & Basics | Radio-Electronics.Com**. [S.I.], 2015a. Disponível em: <<http://www.radio-electronics.com/info/satellite/gps/gps-technology-basics-tutorial.php>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

_____. **GSM - The Base Station Subsystem(BSS)**. [S.I.], 2015c. Disponível em: <http://www.tutorialspoint.com/gsm/gsm_base_station_subsystem.htm>. Acesso em: 17 jun. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU. **Transporte Coletivo – Prefeitura de Blumenau**. Blumenau, 2014. Disponível em: <<http://www.blumenau.sc.gov.br/secretarias/seterb/pagina/transportes-seterb//coletivo-seterb>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

REIS, João G. M. et al. Bus Rapid Transit (BRT) como solução para o transporte público de passageiros na cidade de São Paulo. **INOVAE – Journal of Engineering and Technology Innovation**, São Paulo, v. 1, n. 1, 2013. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/337>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

RODRIGUE, J.P.; SLACK, B. **The geography of transport systems**. New York, 2013. Disponível em: <<http://people.hofstra.edu/geotrans/index.html>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

SILVA, Danyela M. **Sistemas inteligentes no transporte público coletivo por ônibus**. 2000. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SPTRANS. **Olho Vivo SPTrans**. São Paulo, 2014a. Disponível em: <<http://olhovivo.sptrans.com.br>>. Acesso em: 11 set. 2014.

_____. **SPTrans. Tudo sobre o transporte público de São Paulo**. São Paulo, 2014b. Disponível em: <<http://www.sptrans.com.br>>. Acesso em: 11 set. 2014.

TUTORIALSPPOINT. **GSM - The Base Station Subsystem (BSS)**. [S.I.], [2015?]. Disponível em: <http://www.tutorialspoint.com/gsm/gsm_base_station_subsystem.htm>. Acesso em: 05 abr 2015.

URBS. **URBS – ItiBus 3**. Curitiba, 2014a. Disponível em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/mobile/itibus#>>. Acesso em: 14 set. 2014.

_____. **Curitiba terá informação de ônibus em tempo real no computador ou celular**. Curitiba, 2014b. Disponível em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/noticia/curitiba-tera-informacao-de-onibus-em-tempo-real-no-computador-ou-celular>>. Acesso em: 14 set. 2014.

WEATHERFORD, Matt. **Assessment of the Denver Regional Transportation District's Automatic Vehicle Location System**. Cambridge, 2000. Disponível em: <http://www.ntl.bts.gov/lib/jpodocs/repts_te/13589.html> Acesso em: 17 jun. 2015.

WPLEX. **Monitoramento de frotas on-line para transporte urbano**. Florianópolis, 2007. Disponível em: <<http://its.wplex.com.br/wp-content/uploads/2010/02/Monitoramento-de-frotas-online-ITS-WPLEX-01022011.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

APÊNDICE A – Descrição dos casos de uso

Neste apêndice, estarão descritos textualmente os casos de uso do sistema. Os mesmos estarão nos Quadros 9 a 17, sendo que cada caso de uso terá sua descrição, pré-condições, cenários e pós-condições.

Quadro 9 – Caso de uso 01

UC01 – Manter cadastro de ônibus

Permite a um sistema externo a inclusão, exclusão e edição dos cadastros de ônibus, através de uma chamada a um método do serviço web do sistema.

Atores:

Sistema externo.

Pré-condições:

Chamada por aplicativo que implemente a comunicação com o serviço.

Pós-condições:

Inserção, atualização ou exclusão de um cadastro de ônibus.

Cenários:

Cenário principal:

1. O sistema externo chama o método `inserirAtualizarOnibus` do serviço web, passando como parâmetro seu número e se possui acessibilidade ou não.

2. O serviço web retorna o valor "ok", identificando que o cadastro foi efetuado corretamente.

Cenário – alterar:

1. O sistema externo chama o método `inserirAtualizarOnibus` do serviço web, passando como parâmetro seu número e se possui acessibilidade ou não.

2. O serviço web retorna o valor "ok", identificando que a atualização de se possui acessibilidade ou não foi efetuada corretamente.

Cenário – excluir:

1. O sistema externo chama o método `excluirOnibus` do serviço web, passando como parâmetro seu número.

2. O serviço web retorna o valor "ok", identificando que a exclusão foi efetuada corretamente.

Fluxo de exceção 1:

1. No passo 1 do cenário principal, do cenário - alterar ou do cenário - excluir, caso o número do ônibus seja menor ou igual a zero o serviço web retornará "Informação incompleta: número do ônibus".

Fluxo de exceção 2:

1. No passo 2 do cenário - alterar, caso nenhum ônibus tenha sido atualizado, o serviço web retornará a mensagem "Nenhum registro atualizado". Caso haja algum outro problema, o serviço web retornará a mensagem "Atualização impossível".

Fluxo de exceção 3:

1. No passo 2 do cenário – excluir, caso o ônibus esteja em trajeto, o serviço web retornará a mensagem "Ônibus em percurso: " seguido do número do ônibus.

Quadro 10 – Caso de uso 02

UC02 - Manter cadastro de linhas de ônibus

Permite a um sistema externo a inclusão, exclusão e edição dos cadastros de linhas, através de uma chamada a um método do serviço web do sistema.

Atores:

Sistema externo.

Pré-condições:

Chamada por aplicativo que implemente a comunicação com o serviço.

Pós-condições:

Inserção, atualização ou exclusão de um cadastro de linha de ônibus.

Cenários:

Cenário principal:

1. O sistema externo chama o método `inserirAtualizarLinha` do serviço web, passando como parâmetro seu nome e descrição.

2. O serviço web retorna o valor "ok", identificando que o cadastro foi efetuado corretamente.

Cenário – alterar:

1. O sistema externo chama o método `inserirAtualizarLinha` do serviço web, passando como parâmetro seu nome e descrição.

2. O serviço web retorna o valor "ok", identificando que a descrição foi alterada corretamente.

<p>Cenário – excluir:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. O sistema externo chama o método excluirLinha do serviço web, passando como parâmetro seu nome. 2. O serviço web retorna o valor “ok”, indicando que a exclusão foi efetuada corretamente. <p>Fluxo de exceção 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No item 1 do cenário principal, cenário - alterar ou cenário - excluir, caso seja informado nome ou descrição em branco, o serviço web retornará a mensagem "Informação incorreta: " seguida da informação faltante. <p>Fluxo de exceção 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No item 2 do cenário - alterar, caso nenhum ônibus tenha sido atualizado, o serviço web retornará a mensagem "Nenhum registro atualizado". Caso haja algum outro problema, o serviço web retornará a mensagem "Atualização impossível". <p>Fluxo de exceção 3:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No item 2 do cenário – excluir, caso a linha esteja vinculada a algum itinerário, o serviço web retornará a mensagem “Linha vinculada a itinerário(s): ” seguido de uma lista dos itinerários com vínculo com a linha.
--

Quadro 11 – Caso de uso 03

<p>UC03 - Manter cadastro de itinerários dos ônibus</p> <p>Permite a um sistema externo a inclusão, exclusão e edição dos cadastros de itinerários, através de uma chamada a um método do serviço web do sistema.</p> <p>Atores:</p> <p>Sistema externo.</p> <p>Pré-condições:</p> <p>Chamada por aplicativo que implemente a comunicação com o serviço.</p> <p>Pós-condições:</p> <p>Inserção, atualização ou exclusão de um cadastro de itinerário de ônibus.</p> <p>Cenários:</p> <p>Cenário principal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. O sistema externo chama o método inserirAtualizarItinerario do serviço web, passando como parâmetro seu nome, descrição, identificador da linha pertencente, horário, sentido, lista de identificadores dos pontos da linha, identificador do ponto inicial, identificador do ponto do meio e identificador do final da linha. 2. O serviço web retorna o valor "ok", identificando que o cadastro foi efetuado corretamente. <p>Cenário – alterar:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. O sistema externo chama o método inserirAtualizarItinerario do serviço web, passando como parâmetro seu nome, descrição, identificador da linha pertencente, horário, sentido, lista de identificadores dos pontos, identificador do ponto inicial, identificador do ponto do meio e identificador do final da linha. 2. O serviço web retorna o valor "ok", identificando que a atualização do itinerário foi efetuada corretamente. <p>Cenário – excluir:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. O sistema externo chama o método excluirItinerario do serviço web, passando como parâmetro seu nome. 2. O serviço web retorna o valor “ok”, indicando que a exclusão foi efetuada corretamente. <p>Fluxo de exceção 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No passo 1 do cenário principal, cenário - alteração ou cenário - exclusão, caso seja informado nome ou linha pertencente em branco, sentido diferente de 1 ou 2 ou lista de pontos sem pontos informados, o serviço web retornará a mensagem "Informação incorreta: " seguida da informação faltante. <p>Fluxo de exceção 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No passo 1 do cenário principal, cenário - alteração ou cenário - exclusão, caso nem todos os pontos informados estejam cadastrados no sistema, o serviço web retornará a mensagem "Nem todos os pontos da lista de pontos estão cadastrados". <p>Fluxo de exceção 3:</p>
--

1. No passo 2 do cenário - alterar, caso nenhum itinerário tenha sido atualizado, o serviço web retornará a mensagem "Nenhum registro atualizado". Caso haja algum outro problema, o serviço web retornará a mensagem "Atualização impossível".

Fluxo de exceção 4:

1. No passo 2 do Cenário – excluir, caso o itinerário esteja vinculado a algum ônibus, o serviço web retornará a mensagem “Itinerário vinculado a ônibus: ” seguido de uma lista dos ônibus que possuem o itinerário vinculado.

Quadro 12 – Caso de uso 04

UC04 - Manter cadastro dos pontos de parada dos ônibus

Permite a um sistema externo a inclusão, exclusão e edição dos cadastros de pontos de parada dos ônibus, através de uma chamada a um método do serviço web do sistema.

Atores:

Sistema externo.

Pré-condições:

Chamada por aplicativo que implemente a comunicação com o serviço.

Pós-condições:

Inserção, atualização ou exclusão de um cadastro de parada de ônibus.

Cenários:

Cenário principal:

1. O sistema externo chama o método inserirAlterarPonto do serviço web, passando como parâmetro seu identificador, latitude, longitude, lista de identificadores de pontos anteriores, lista de identificadores dos próximos pontos e sentido.

2. O serviço web retorna o valor "ok", identificando que o cadastro foi efetuado corretamente.

Cenário – alterar:

1. O sistema externo chama o método inserirAlterarPonto do serviço web, passando como parâmetro seu identificador, latitude, longitude, lista de identificadores de pontos anteriores, lista de identificadores dos próximos pontos e sentido.

2. O serviço web retorna o valor "ok", identificando que a atualização do cadastro foi efetuada corretamente.

Cenário – excluir:

1. O sistema externo chama o método excluirPonto do serviço web, passando como parâmetro seu identificador.

2. O serviço web retorna o valor “ok”, identificando que a exclusão do ponto foi efetuada corretamente.

Fluxo de exceção 1:

1. No passo 1 do cenário principal, cenário - alteração ou cenário - exclusão, caso seja informado identificador em branco ou sentido diferente de 1 ou 2, o serviço web retornará a mensagem "Informação incorreta: " seguida da informação faltante.

Fluxo de exceção 2:

1. No passo 1 do cenário principal, cenário - alteração ou cenário - exclusão, caso nem todos os pontos informados nas listas de identificadores dos próximos pontos e pontos anteriores estejam cadastrados no sistema, o serviço web retornará a mensagem "Nem todos os pontos da lista de pontos estão cadastrados: " seguido de qual lista de identificadores de pontos ocasionou o problema.

Fluxo de exceção 3:

1. No passo 2 do cenário - alterar, caso nenhum ponto tenha sido atualizado, o serviço web retornará a mensagem "Nenhum registro atualizado". Caso haja algum outro problema, o serviço web retornará a mensagem "Atualização impossível".

Fluxo de exceção 4:

1. No passo 2 do cenário – excluir, caso o ponto esteja em uso por algum itinerário ou outro ponto, o serviço web retornará a mensagem “Ponto em uso ” seguido de uma lista dos pontos e/ou itinerários que possuem o ponto vinculado.

Quadro 13 – Caso de uso 05

UC05 – Monitorar ônibus

Permite a um operador de ônibus iniciar o monitoramento para transmitir a localização do ônibus ao sistema.

Atores:

Operador.

Pré-condições:

Aplicativo monitor instalado.

Smartphone deve possuir GPS e serviços de localização ativos.

Pós-condições:

Ônibus é listado dentre os monitorados no serviço web.

Cenários:

Cenário principal:

1. O operador do ônibus abre o aplicativo monitor.
2. O operador do ônibus seleciona a linha e itinerário e informa o número do ônibus.
3. O operador do ônibus clica em iniciar monitoramento.
4. Passará a ser exibido o status do monitoramento na área de notificações do celular.
5. Quando o aplicativo receber do serviço web a identificação que o monitoramento foi finalizado, pois chegou ao último ponto, o aplicativo adiciona na área de notificações do *smartphone* um alerta de que o percurso foi concluído.

Fluxo alternativo 1:

1. No passo 4, caso o aplicativo perca a conexão com a internet, continuará rodando até que a conexão seja restaurada, de onde prosseguirá o monitoramento e envio das localizações para o serviço web.

Fluxo de exceção 1:

1. No passo 2, caso o operador do ônibus tente selecionar um itinerário sem selecionar uma linha, o sistema exibe um alerta relativo a este problema.

Fluxo de exceção 2:

1. No passo 3, caso o operador do ônibus não tenha informado linha, itinerário ou número do ônibus, o sistema exibe um alerta relativo a informação faltante.

Fluxo de exceção 3:

1. No passo 3, caso o operador do ônibus já tenha iniciado o monitoramento, será exibida uma mensagem alertando que o serviço de monitoramento já foi iniciado.

Fluxo de exceção 4:

1. No passo 3, caso o operador do ônibus não tenha o GPS habilitado no *smartphone*, o processo será interrompido e será perguntado se o GPS deve ser habilitado.

2. Em caso positivo, será aberta a tela de configurações de localização do *smartphone*.

Fluxo de exceção 5:

1. No passo 4, se houver algum problema do serviço web que impeça o monitoramento de prosseguir, será mostrada uma mensagem na área de notificações do *smartphone* com o erro retornado.

Quadro 14 – Caso de uso 06

UC06 - Parar monitoramento de ônibus

Permite a um operador de ônibus parar o monitoramento para transmitir a localização do ônibus ao sistema.

Atores:

Operador.

Pré-condições:

Aplicativo monitor instalado.

Pós-condições:

Ônibus é retirado da lista de monitorados do serviço web.

Cenários:

Cenário principal:

1. O operador do ônibus abre o aplicativo monitor.
2. O operador seleciona a opção parar monitoramento.

3. O operador confirma a pergunta em relação a parar o monitoramento.
 Fluxo alternativo 1:
 1. No passo 3, caso o operador selecione a opção não, o serviço de monitoramento não é interrompido.
 Fluxo de exceção 1:
 1. No passo 2, caso o serviço de monitoramento não esteja inicializado, será interrompido o processo e mostrado um alerta ao operador.

Quadro 15 – Caso de uso 07

UC07 - Visualizar linhas e itinerários
 Permite ao usuário visualizar linhas e itinerários com seus horários disponíveis para os ônibus.
 Atores:
 Usuário.
 Pré-condições:
 Aplicativo para o usuário final instalado.
 Cenários:
 Cenário principal:
 1. Usuário abre o aplicativo para o usuário final.
 2. Usuário escolhe a opção visualizar horários.
 3. Usuário escolhe a linha que deseja.
 4. Usuário visualiza a lista dos itinerários e seus horários para a linha selecionada previamente.
 Fluxo de exceção 1:
 1. Nos passos 2 ou 3, caso haja algum problema ao buscar as informações de linhas ou itinerários, o processo é parado e o aplicativo permanece na mesma tela.

Quadro 16 – Caso de uso 08

UC08 - Visualizar pontos de parada e ônibus em percurso
 Permite ao usuário visualizar os pontos de parada e ônibus que estão em percurso para determinada linha.
 Atores:
 Usuário.
 Pré-condições:
 Aplicativo para o usuário final instalado.
Smartphone deve possuir GPS e serviços de localização ativos.
 Cenários:
 Cenário principal:
 1. Usuário abre aplicativo para o usuário final.
 2. Usuário seleciona a opção visualizar ônibus em percurso.
 3. Usuário seleciona a linha a qual deseja visualizar os ônibus.
 4. É aberto um mapa mostrando os pontos de parada e ônibus que estão em percurso para a linha selecionada.
 5. Caso o GPS esteja habilitado, o mapa é focado na posição aproximada do usuário.
 Fluxo de exceção 1:
 1. Nos passos 2 e 3, caso não haja conexão com a internet, o processo é parado e o aplicativo permanece na mesma tela.

Quadro 17 – Caso de uso 09

UC09 – Requisitar sugestão de itinerário e tempo restante por local e hora
 Permite ao usuário obter uma sugestão de rota com base em uma origem, destino e horário informados.
 Atores:
 Usuário.
 Pré-condições:
 Aplicativo para o usuário final instalado.
Smartphone deve possuir GPS e serviços de localização ativos
 Cenários:

Cenário principal:

1. Usuário abre o aplicativo para o usuário final.
2. Usuário seleciona a opção sugestão de rotas por local.
3. Usuário clica em selecionar para abrir um mapa para escolher origem e destino.
4. Usuário arrasta o marcador correspondente a origem, se necessário, e toca no local no mapa que será o destino.
5. Usuário clica em confirmar.
6. Usuário escolhe uma hora.
7. Usuário clica em sugerir.
8. O sistema abre um mapa, focado no ponto inicial do trajeto, que terá os pontos e horários que o usuário deverá estar.

Fluxo alternativo 1:

1. No passo 4, caso o usuário pressione o botão voltar do *smartphone*, não será selecionada origem e destino, voltando-se ao passo 3.

Fluxo de exceção 1:

1. No passo 3, caso o usuário não possua o GPS habilitado no *smartphone*, interrompe o processo e pergunta se o mesmo deseja habilitá-lo.
2. Em caso positivo, é aberta a tela de configurações de localização do *smartphone*.

Fluxo de exceção 2:

1. No passo 7, caso não tenha sido informada origem e destino, o aplicativo mostrará uma mensagem de alerta a respeito.
2. Caso a origem, destino e horário tenham sido informados, mas não houver sugestão de rota válida, o aplicativo mostrará uma mensagem de alerta e abortará o processo.

APÊNDICE B – Dicionário de dados

Neste apêndice, estão listadas as estruturas básicas de dados que são utilizadas no banco de dados do sistema, citadas na seção de especificação do trabalho. Os tipos de dados primários usados estão descritos a seguir:

- a) `ObjectID`: Identificador de um registro dentro do banco. Formado por uma *string* hexadecimal de 24 caracteres;
- b) `String`: cadeia de caracteres, sem limitação de tamanho;
- c) `Integer`: valores numéricos inteiros;
- d) `Double`: valores numéricos de ponto flutuante;
- e) `DateTime`: valor que representa uma data;
- f) `Boolean`: valores booleanos (`true` e `false`).

É possível também a utilização de tipos compostos. Os dois tipos utilizados estão descritos a seguir:

- a) `Array`: conjunto de elementos de determinado tipo, primário ou composto;
- b) `Localizacao`: par de coordenadas geográficas (latitude e longitude), descrita através de dois valores do tipo *Double*.

A descrição das estruturas está feita nos quadros 18 a 21.

Quadro 18 – Estrutura dos dados relativos a pontos

Ponto – Coleção de todos os pontos cadastrados no sistema			
Campo	Tipo	Descrição	Obrigatório
_id	ObjectID	Identificador interno do ponto dentro do banco.	Sim (criado automaticamente)
localizacao	Localizacao	Coordenada do ponto.	Sim
identificador	String	Identificação do ponto dentro do sistema.	Sim
pontosProximos	Array de ObjectID	Lista dos próximos pontos.	Não
pontosAnteriores	Array de ObjectID	Lista dos pontos anteriores.	Não
sentido	Integer	Sentido do ponto: 1 – Bairro 2 - Terminal	Sim

Quadro 19 – Estrutura dos dados relativos a itinerários

Itinerario – Coleção de todos os itinerários cadastrados no sistema			
Campo	Tipo	Descrição	Obrigatório
_id	ObjectID	Identificador interno do ponto dentro do banco.	Sim (criado automaticamente)
nome	String	Nome do itinerário no sistema.	Sim
descricao	String	Detalhes adicionais do itinerário.	Não
linhaPertencente	ObjectID	Identificador da linha do qual o itinerário é pertencente.	Sim
distancia	Double	Distância total do trajeto da linha.	Sim
velocidadeMedia	Double	Velocidade média do itinerário.	Sim
atualizacoes	Integer	Variável utilizada no cálculo da velocidade média do itinerário.	Sim
listaPontos	Array de ObjectID	Lista dos pontos que compõem o itinerário.	Sim
pontoInicio	ObjectID	Ponto inicial da linha.	Sim
pontoMeio	ObjectID	Ponto do meio da linha, onde quando o ônibus passar, irá trocar o sentido (em caso de linha circular).	Não
pontoFim	ObjectID	Ponto final da linha.	Sim

Quadro 20 – Estrutura dos dados relativos a linhas

Linhas – Coleção das linhas de ônibus cadastradas no sistema			
Campo	Tipo	Descrição	Obrigatório
_id	ObjectID	Identificador interno do ponto dentro do banco.	Sim (criado automaticamente)
nome	String	Nome da linha no sistema.	Sim
descricao	String	Descrição da linha.	Sim

Quadro 21 – Estrutura dos dados relativos a ônibus

Onibus – Coleção dos ônibus cadastradas no sistema			
Campo	Tipo	Descrição	Obrigatório
_id	ObjectID	Identificador interno do ponto dentro do banco.	Sim (criado automaticamente)
localizacao	Localizacao	Ponto atual do ônibus, caso em percurso.	Sim
numero	Integer	Número do ônibus dentro do sistema.	Sim
itinerario	ObjectID	Identificador do itinerário atual do ônibus, caso em percurso.	Sim
acessibilidade	Boolean	Identificação se o ônibus possui recurso de acessibilidade para cadeirantes.	Sim

horaPartida	DateTime	Hora de saída do ônibus, informada ao iniciar o percurso.	Sim
horaChegada	DateTime	Hora de chegada do ônibus ao fim do percurso, de onde é possível com a hora de partida e distância do itinerário obter a velocidade média do percurso.	Sim
emPercurso	Boolean	Variável para controlar se o ônibus já está efetuando algum percurso de itinerário.	Sim
sentido	Integer	Sentido do trajeto do ônibus: 1 – Bairro 2 - Terminal	Sim