MAURICIO LIMA FERREIRA

**Automação de metodologia para avaliação da demanda de
passageiros para transportes públicos na mobilidade urbana por
meio da tecnologia RFID**

SÃO PAULO
2015

MAURICIO LIMA FERREIRA

**Automação de metodologia para avaliação da demanda de
passageiros para transportes públicos na mobilidade urbana por
meio da tecnologia RFID**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do título de
Mestre em Ciências.

SÃO PAULO
2015

MAURICIO LIMA FERREIRA

Automação de metodologia para avaliação da demanda de passageiros para transportes públicos na mobilidade urbana por meio da tecnologia RFID

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Sistemas de Potência

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mário Dias

SÃO PAULO
2015

Ferreira, Mauricio Lima

Automação de metodologia para avaliação da demanda de passageiros para transportes públicos na mobilidade urbana por meio da tecnologia RFID

/ M. L. Ferreira -- São Paulo, 2015.

240 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Sistemas inteligentes de transportes 2.Planejamento de transportes
3.Mobilidade urbana 4.Cidades inteligentes I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Eduardo Mário Dias que me deu a oportunidade de ampliar meus horizontes de conhecimento para galgar mais um importante degrau na minha carreira.

Aos amigos e educadores da Escola Politécnica que me foram fontes de conhecimento, inspiração e acolhimento.

À São Paulo Transportes S.A., empresa a que dedico meu trabalho.

À minha família, que privei de momentos da minha companhia enquanto estava dedicado à pesquisa; mas com que, apesar disto, pude contar com excepcional apoio e compreensão.

A todos aqueles que contribuíram para a minha pesquisa e apoiaram o seu desenvolvimento.

RESUMO

Esta dissertação propõe um modelo tecnológico de automação para realização de pesquisas no setor do transporte público, com o objetivo de contribuir para o aprimoramento da coleta de dados, avaliação e manutenção da qualidade dos serviços prestados à população. O trabalho justifica-se pela necessidade de superação de lacunas existentes para obtenção de informações, o que repercute na gestão do sistema de transporte público como um todo. Devido à relevância crescente do tema da mobilidade urbana e os impactos que provoca na qualidade de vida das pessoas, o objeto de estudo escolhido foram os deslocamentos dos passageiros por meio do uso de ônibus na cidade de São Paulo. O modelo proposto integra a tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID – *Radio Frequency Identification*), em cartões inteligentes, utilizados atualmente para pagar a tarifa, com tecnologias de rastreamento da frota, que, por meio de GPS (*Global Position Systems*), fornecem informações sobre os locais de circulação dos ônibus. Os resultados obtidos mostram que esta integração pode resolver os problemas da falta de precisão no levantamento de dados sobre os locais onde são iniciadas e finalizadas as viagens de passageiros, bem como tornar sistemáticos os levantamentos de tais dados, sem necessidade de pesquisas manuais, o que representa economia de recursos. Constitui uma proposta inovadora com grande utilidade para ampliar as condições que favorecem a mobilidade urbana e é convergente no desenvolvimento de cidades inteligentes.

Palavras chave: Cidades inteligentes. Identificação por Radiofrequência – RFID. Mobilidade Urbana. Pesquisas de transporte. Planejamento de transporte. Sistemas Inteligentes de Transporte – ITS.

ABSTRACT

This dissertation proposes a technological model for automation for conducting surveys in the public transport sector, in order to contribute to the improvement of data collection, evaluation and maintenance of quality of services rendered to the population. The work is justified by the need to overcome gaps for obtaining information, which affects the management of the public transport system as a whole. Due to the increasing relevance of the issue of urban mobility and its impact on quality of life, the chosen object of study were the passenger movements through the bus use in the city of São Paulo. The proposed model integrates the radio frequency identification technology - RFID, on smart cards currently used to pay the fare, with fleet tracking technologies, which, through GPS (Global Position Systems), provide information on the bus traffic locations. The results show that this integration can solve the problems of lack of precision in data about where passenger trips are initiated and completed as well as make systematic withdrawals of such data without the need for manual searches, saving features. It is an innovative proposal with great use to expand the conditions that improve urban mobility and is convergent to the development of smart cities.

Key words: Smart Cities. Urban Mobility. Public transportation passengers. Transport surveys. Transportation planning. Radio Frequency Identification - RFID. Intelligent Transportation Systems - ITS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Ilustrações que representam os Níveis de Serviço na ocupação de espaços.	57
Figura 2 –	Nuvem de registros da localização de veículos coletados por GPS, durante um dia útil, na cidade de São Paulo.	75
Figura 3 –	Contadores Automáticos de Passageiros.	77
Figura 4 –	Fluxograma dos processos do Planejamento de Transporte Urbano.	80
Figura 5 –	Sequência dos deslocamentos de passageiros nas viagens.	91
Figura 6 –	Visão geral das tecnologias de autoidentificação (Auto-ID).	94
Figura 7 –	Código de Barras sistema EAN-13.	95
Figura 8 –	Exemplos das etiquetas Data Matrix e QR Code.	96
Figura 9 –	Chip RFID para implantação em humanos.	106
Figura 10 –	Gráfico das projeções do mercado de RFID em bilhões de dólares.	113
Figura 11 –	Arquitetura de componentes em um sistema RFID.	114
Figura 12 –	Componentes principais de um Sistema RFID.	115
Figura 13 –	Exemplo de uma TAG-RFID.	116
Figura 14 –	Exemplo de TAG EAS.	129
Figura 15 –	Fotografias de microchips comparando suas dimensões a um dedo humano.	132
Figura 16 –	Esquema de uma arquitetura básica de um microprocessador. ..	133
Figura 17 –	Desenho que ilustra a posição de um leitor RFID Fixo.	138
Figura 18 –	Fotografia de um leitor RFID móvel.	138
Figura 19 –	Fotografia de um leitor RFID manual em operação.	139
Figura 20 –	Fotografia de um leitor RFID serial.	140
Figura 21 –	Fotografia de uma estrutura com antenas RFID.	141
Figura 22 –	Fotografia de um portal com antenas RFID.	142
Figura 23 –	Fotografia de antena RFID do tipo túnel.	143
Figura 24 –	Fotografia de uma antena portátil acoplada a um leitor RFID manual.	144
Figura 25 –	Fotografia de uma empilhadeira com antenas RFID acopladas. .	144
Figura 26 –	Fotografia de uma prateleira inteligente, equipada com dispositivos de RFID.	145
Figura 27 –	Desenho esquemático da posição do <i>middleware</i> em sistemas RFID.....	147
Figura 28 –	Mapa da alocação mundial da banda UHF RFID.	158
Figura 29 –	Fluxograma do processo de identificação, confirmação e descarte do EPC.	168
Figura 30 –	Fotografias do ônibus com equipamentos da tecnologia RFID demonstrando a posição das antenas.	170
Figura 31 –	Fotografia do equipamento protótipo de leitor de RFID.	172

Figura 32 –	Modelo da estrutura física de um cartão inteligente BU e modelo do cartão inteligente híbrido.	173
Figura 33 –	Fotografia da TAG-RFID protótipo desenvolvido exclusivamente para o teste na Sptrans.	174
Figura 34 –	Fotografia dos cartões inteligentes produzidos com TAG RFID e utilizados nos testes.	176
Figura 35 –	Imagem da interface do usuário do programa ID ISOStart 2012.	177
Figura 36 –	Imagem da interface do usuário do aplicativo Contador de Eventos RFID.	178
Figura 37 –	Fluxograma do processo de teste utilizado por voluntários no experimento RFID.	181
Figura 38 –	Fotografia da antena "A" no ônibus demonstrando sua posição. .	185
Figura 39 –	Fotografias do <i>cockpit</i> do motorista demonstrando o local do reposicionamento da antena "A" para a posição frontal.	187
Figura 40 –	Imagem aérea da garagem demonstrando os PED e roteiro do ônibus para realizar os testes.	190
Figura 41 –	Fluxograma do processo da contagem de passageiros no ônibus.	192
Figura 42 –	Gráfico da lotação de passageiros no ônibus durante o teste.	206
Figura 43 –	Desenho de uma arquitetura genérica de suporte ao funcionamento da tecnologia RFID no setor de transporte público.	210

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	População mundial 2015 e projeção para 2030, 2050 e 2100. ..	29
Tabela 2 –	Ranking das dez cidades mais congestionadas da América.	33
Tabela 3 –	Padrão da Qualidade – Lotação dos ônibus.	56
Tabela 4 –	Representação de uma matriz origem-destino.	85
Tabela 5 –	Comparação entre tecnologias AIDC.	101
Tabela 6 –	Comparação entre as principais características das TAG.	119
Tabela 7 –	Vantagens e desvantagens entre classes de TAG.	120
Tabela 8 –	Diferentes classes de TAG.	123
Tabela 9 –	Classes de sistemas RFID de acordo com as faixas de frequência e suas características.	127
Tabela 10 –	Resumo das principais normas ISO.	151
Tabela 11 –	Resultados do teste de leituras das TAG RFID AD235 - Cenário 1.	182
Tabela 12 –	Resultados do teste de leituras das TAG RFID AD370 - Cenário 1.	182
Tabela 13 –	Resultados do teste de leituras das TAG RFID SIRIT RSI654 - Cenário 1.	183
Tabela 14 –	Resultados do teste de leituras das TAG RFID PROTO - Cenário 1.	183
Tabela 15 –	Medidas de comparação entre os resultados das TAG.	184
Tabela 16 –	Resultados das leituras das TAG RFID – Cenário 2.	186
Tabela 17 –	Resultados das leituras das TAG RFID – Cenário 3.	188
Tabela 18 –	Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 1.	193
Tabela 19 –	Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 2.	194
Tabela 20 –	Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 3.	195
Tabela 21 –	Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 4.	196
Tabela 22 –	Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 5.	197
Tabela 23 –	Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 6.	198
Tabela 24 –	Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 7.	199
Tabela 25 –	Matriz Origem e Destino (O/D).	201
Tabela 26 –	Tempo de viagem dos voluntários.	202
Tabela 27 –	Tempo total de espera dos voluntários no PED.	203
Tabela 28 –	Informações da lotação e FR da linha – Dados RFID.	205
Tabela 29 -	Informações da lotação e FR da linha – Dados obtidos por meio de controle manual.	206

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAR	<i>American Association Railroads</i> (Associação de Ferrovias Americanas).
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ACMA	<i>Australian Communications and Media Authority</i> .
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i> .
AFC	<i>Automatic Fare Collection</i> (Pagamento Automático de Tarifa).
AIDC	<i>Automatic Identification and Data Capture</i> (Identificação automática e captura de dados).
AML	<i>Ambient Intelligence</i> (Inteligência ambiental).
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações do Brasil.
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos.
APC	<i>Automatic Passengers Counting</i> (Contador Automático de Passageiros).
API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação dos Aplicativos).
APTS	<i>Advanced Public Transport Systems</i> (Sistemas Avançados de Transporte Público).
ARI	<i>Auto-fahrer Rundfunk Information</i> (Informações ao Condutor do Automóvel por Radiodifusão).
ARIB	<i>Association of Radio Industries and Business</i> .
ATIS	<i>Advanced Traveler Information Systems</i> (Sistemas Avançados de Informação ao Viajante).
ATMS	<i>Advanced Traffic Management Systems</i> (Sistemas Avançados de Gestão do Tráfego).
AUTO-ID	<i>Auto-IDentification</i> (Identificação automática).
AVCS	<i>Advanced Vehicle Control and Safety Systems</i> (Sistemas Avançados de Controle Veicular e Sistemas de Segurança).
AVL	<i>Automatic Vehicle Location</i> (Localizador Automático de Veículos).
BIG DATA	Megadados.
Brasil-ID	Sistema de Identificação, Rastreamento e Autenticação de Mercadorias.
BU	Bilhete Único.

CACS	<i>Comprehensive Automobile Control System</i> (Sistema Abrangente de Controle de Automóveis).
CAN-Bus	Acrônimo inglês das palavras <i>Controller Area Network</i> .
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i> (Comitê Europeu de Normalização).
CEPT	<i>European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i> (Conferência Europeia das Administrações de Correios e Telecomunicações).
CERP-IoT	<i>Cluster of European Research Projects</i> (Cluster de Pesquisa e Projetos Europeus para Internet das Coisas).
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> . (Acesso Múltiplo com Divisão de Código).
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária.
CTA	<i>Chicago Transit Authority</i> .
CVO	<i>Commercial Vehicle Operation</i> (Sistemas ITS para Operação Comercial de Frotas).
D.O.U.	Diário Oficial da União.
dBm	Decibel miliwatt.
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito.
DNA	<i>Deoxyribonucleic Acid</i> (Ácido desoxirribonucleico - ADN, em português).
DoD	<i>Department of Defense</i> . Departamento de Defesa dos EUA.
HF	<i>High Frequency</i> (Alta Frequência).
EAN	<i>European Article Number</i> .
EAS	<i>Electronic Article Surveillance</i> (Vigilância Eletrônica de Produtos).
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i> (Memória Somente de Leitura Programável e Apagável Eletricamente).
EM	<i>Emergency System</i> .
EPROM	<i>Erasable Programmable Read Only Memory</i> (Memória Somente de Leitura Programável e Apagável).
ERTICO	<i>European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization</i> (Organização para Coordenação de Transportes Rodoviários e Implementação de Telemática).
ES	<i>Enterprise Systems</i> (Sistemas Empresariais).
ETC	<i>Electronic Toll Collect</i> (Pagamento Eletrônico em Pedágios).

ETSI	<i>European Telecommunication Standards Institute</i> (Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações).
FCC	<i>Federal Communication Commission</i> (Comissão Federal de Comunicações nos EUA).
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i> . (Técnica de Múltiplo Acesso com Divisão de Frequência).
FR	Fator de Renovação.
FRAM	<i>Ferro-magnetic Random Access Memory</i> .
GAITS	<i>Global Advanced Information and Telecommunications Society</i> .
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global).
GS1	<i>Global System One</i> .
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i> (Instituto de Engenharia Elétrica).
IFF	<i>Identification Friend or Foe</i> (Identificação de aviões amigos ou inimigos).
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas).
IPEA	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas.
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i> (banda de rádio Industrial, Científica e Médica).
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (União Internacional das Instituições Nacionais de Padronizações).
ITS	<i>Intelligent Transportation System</i> (Sistemas Inteligentes de Transporte).
ITS América	<i>Intelligent Transportation Society of America</i> .
ITSS	<i>Intelligent Transportation Systems Society</i> .
ITU	<i>International Telecommunication Union</i> .
IVHS	<i>Intelligent Vehicle-Highway Systems</i> .
LF	<i>Low Frequency</i> (Baixa Frequência).
MF	<i>Microwave Frequency</i> (Frequência de Micro-ondas).
MITI	<i>Ministry of International Trade and Industry</i> (Ministério da Indústria e Comércio Internacional do Japão).
NL	Nível de Lotação.

OCR	<i>Optical Character Recognition</i> (Reconhecimento óptico de caracteres).
ONU	Organização das Nações Unidas.
PED	Ponto de Embarque e Desembarque.
PESQUISA O/D	Pesquisa Origem/Destino.
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> (Controlador Lógico Programável).
POS	<i>Point of Sale</i> ou <i>Point of Service</i> (Ponto de Venda ou Ponto de Serviço).
PROMETHEUS	<i>PROgramM for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety.</i>
RACS	<i>Road/Automobile Communication System.</i>
RADAR	<i>Radio Detection And Ranging</i> (Detecção e Telemetria pelo Rádio).
RAF	<i>Royal Air Force</i> (Força Aérea Real Britânica).
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Aleatório).
Reader RFID	Leitor de RFID.
RF	<i>Radio Frequency</i> (Radiofrequência).
RFID	<i>Radio Frequency IDentification</i> (Identificação por Radiofrequência).
RNP	Rede Nacional de Pesquisa.
ROM	<i>Read Only Memory</i> (Memória Somente de Leitura).
RW	<i>Read-Write memory</i> (Memória de Leitura e Escrita).
SAW	<i>Surface Acoustic Wave</i> (Onda acústica de superfície).
SBE	Sistema de Bilhetagem Eletrônica.
SPTRANS	São Paulo Transporte S.A.
TCU	Tribunal de Contas da União.
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> (Técnica de Múltiplo Acesso com Divisão do Tempo).
TfL	<i>Transport for London.</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação.
TIRIS	<i>Texas Instruments Registration and Identification System.</i>
UCC	<i>Uniform Code Council.</i>
EU	União Europeia.
UHF	<i>Ultra High Frequency</i> (Ultra Alta Frequência).

ULA	Unidade Lógica Aritmética.
UPC	<i>Universal Product Code</i> (Código Universal do Produto).
UV	Radiação Ultravioleta.
VICS	<i>Vehicle Information and Communication System Centre.</i>
WORM	<i>Write Once Read Many.</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Objetivos do trabalho	20
1.2. Organização	21
1.3. Contextualização e problemática	22
1.3.1. A cidade de São Paulo	26
2. AS CIDADES INTELIGENTES E OS FATORES QUE INTERFEREM NA MOBILIDADE URBANA	28
2.1. Desenvolvimento econômico e o crescimento urbano	28
2.2. O trânsito de automóveis nas cidades	30
2.3. A cidade e o ambiente inteligente	34
2.4. A mobilidade urbana	38
2.4.1. As deficiências na mobilidade urbana	39
2.4.2. A acessibilidade ao sistema de transporte	40
2.5. As cidades e o transporte sustentável	43
3. O TRANSPORTE COLETIVO	46
3.1. Condições que provocam ineficiência nos serviços públicos de transporte	49
3.2. Fatores da qualidade no transporte público	52
3.3. Métodos de pesquisa no transporte coletivo	60
3.3.1. Métodos diretos de pesquisa	61
3.3.2. Métodos indiretos de pesquisa	66
3.4. Sistemas Inteligentes de Transporte	68
3.5. Modelos de planejamento em transportes	77
3.6. Matriz Origem-Destino (O/D)	85
3.6.1. Matrizes O/D produzidas por meio da análise de dados coletados por dispositivos eletrônicos	88
4. SISTEMAS DE IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA	93
4.1. A tecnologia de identificação por radiofrequência - RFID	102
4.2. Breve história do desenvolvimento e evolução da tecnologia RFID	108
4.3. Componentes da tecnologia RFID e suas características	114
4.3.1. A TAG-RFID	115
4.3.2. O leitor de RFID	134
4.3.3. As Antenas nos sistemas RFID	140
4.3.4. O middleware	145

4.3.5. As impressoras RFID	148
4.4. Padronização da tecnologia RFID.....	148
4.5. Dificuldades na adoção dos sistemas de RFID.....	153
4.5.1. Desafios tecnológicos na RFID	154
4.5.2. Desafios na segurança e na privacidade da informação.....	156
4.5.3. Desafios na definição dos padrões	156
4.5.4. Desafios devidos aos custos.....	159
4.5.5. Desafios quanto ao retorno dos investimentos	160
4.5.6. Desafios quanto à integração da RFID na organização.....	161
5. APLICAÇÃO DO MODELO E OBTENÇÃO DE RESULTADOS	162
5.1. Metodologia.....	162
5.2. Informações operacionais obtidas.....	201
5.2.1. Matriz Origem e Destino.....	201
5.2.2. Tempo de viagem dos passageiros	202
5.2.3. Tempo de viagem do ônibus	203
5.2.4. Tempo total de espera dos passageiros nos pontos de parada.....	203
5.2.5 – Lotação do veículo	204
5.2.6 – Sistematização de informações	207
6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	211
REFERÊNCIAS.....	214
GLOSSÁRIO	231

1. INTRODUÇÃO

A manutenção da qualidade de vida contemporânea dos habitantes nas cidades está cada vez mais complexa devido a efeitos que decorrem do desenvolvimento econômico e social ao longo dos últimos anos. Decorrente da atração, mais pessoas procuram trabalhar e residir nestas áreas, em busca de melhorias. Assim, a mobilidade urbana torna-se um dos grandes desafios dos governantes e o sistema de transporte tem papel relevante na solução dos problemas que impactam na vida moderna. Neste sentido, os governos buscam promover melhorias para aprimorar a rede de transporte público. Para apoiar os processos de gestão, utilizam cada vez mais os recursos de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS – *Intelligent Transportation Systems*), para obter dados e produzir informações para nortear ajustes, controlar serviços e desenvolver a rede de transporte. Entretanto, apesar do expressivo volume de dados coletados por estes sistemas, os gestores do transporte público ainda encontram dificuldades para ter disponíveis informações sobre as características das viagens dos passageiros, a não ser pela aplicação de métodos matemáticos e estatísticos nos dados para inferi-las, ou obtê-las por meio de pesquisas de campo.

Ampliar o conhecimento e a compreensão dos planejadores e controladores dos serviços de transporte sobre como funciona o cotidiano dos habitantes torna-se preponderante para vencer os desafios da mobilidade, principalmente nos grandes centros urbanos. São informações que permitem aos gestores de trânsito e transporte compreender o relacionamento existente entre as viagens das pessoas e os locais da cidade onde residem e onde realizam suas atividades, como trabalhar, estudar ou consumir, e assim, programar serviços compatíveis com as necessidades destes deslocamentos. Entre os dados importantes de se conhecer, estão aqueles sobre a demanda de passageiros e a identificação dos locais onde ocorrem as origens e os destinos das pessoas que viajam pelo modo coletivo, pois representam informações importantes no desenvolvimento de ações para aplicações operacionais urbanas de transporte e de trânsito.

Apesar da importância, as informações que demonstram as características dos deslocamentos das pessoas são difíceis de serem produzidas, a não ser por

meio de dispendiosas pesquisas com usuários. As pesquisas que viabilizam estas informações requerem grande esforço para elaborar e operacionalizar, bem como extensivo dispêndio de recursos financeiros, de tempo e humanos. A complexidade na execução das pesquisas é considerada barreira que impede a sua execução com a abrangência, amplitude e a periodicidade que sejam compatíveis com as necessidades que têm os órgãos públicos e empresas fornecedoras em acompanhar, com maior dinamismo, o consumo por serviços de transporte. Devido a isto, deixam de refletir as mudanças dos padrões das viagens das pessoas, que podem variar significativamente ao longo dos dias e em diferentes locais.

As informações de que fazem uso as agências e empresas operadoras para realizar a gestão dos serviços, são obtidas, geralmente, de forma determinística, com contagens sobre eventos da operação dos ônibus e têm maior aplicação no controle da frota e na arrecadação de tarifas, por meio do registro de passageiros. Entretanto, as informações sobre a forma como os passageiros deslocam-se pela cidade são relegadas para segundo plano. São informações que permitem identificar as origens e destinos das viagens, os tempos gastos nos percursos e as condições de conforto a que os passageiros são submetidos. Quando as informações são requeridas, são fornecidas de forma probabilística, pois são obtidas por estimativas e, quando utilizadas, não recebem a importância que lhes é devida na gestão operacional ou no planejamento dos serviços do transporte coletivo.

A presente pesquisa propõe uma alternativa para obter informações sobre os locais onde os passageiros do transporte público realizam os embarques e desembarques nos ônibus, bem como outras informações que medem a qualidade dos serviços, removendo as barreiras para sua obtenção. Estuda a tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID – *Radio Frequency IDentification*) em cartões inteligentes para pagamento da tarifa, integrada com tecnologias para rastreamento de frota (GPS – *Global Position System*) para coletar dados e produzir informações sobre o perfil, o histórico e hábitos do cidadão enquanto utiliza o transporte público coletivo.

Desta forma, busca obter características mais detalhadas e precisas dos deslocamentos dos passageiros nos ônibus, com informações atualizadas sobre

como utilizam os serviços do transporte público e como consomem os espaços urbanos. Habilita as condições necessárias para que o controle sistemático da demanda possa tornar-se efetivo nas atividades de gestão e, a partir dela, tornar mais eficientes as operações dos ônibus, melhorar os sistemas de informações aos usuários e fornecer subsídios para o planejamento da rede do transporte público.

Os resultados obtidos têm relevância na mobilidade urbana e são convergentes com a busca por melhorias econômicas e sociais da cidade, pois têm potencial de trazer reflexos na qualidade de vida das pessoas.

1.1. Objetivos do trabalho

O objetivo geral da proposta deste estudo é oferecer um modelo tecnológico de automação e controle para ser utilizado nas cidades inteligentes no que se refere à geração de dados sobre o modo de ocupação humana nos espaços urbanos, com foco na geração de dados sobre segmentos da mobilidade urbana.

O objetivo específico é aplicar o modelo no setor de transportes públicos, para aprimorar a coleta de dados sobre os deslocamentos dos passageiros de ônibus pela cidade, visando melhor controle e planejamento do setor, com melhoria dos serviços e redução de custos tanto nas operações dos veículos quanto na execução de pesquisas manuais de campo.

Para isto foi desenvolvida uma metodologia que foi utilizada na realização de testes práticos da tecnologia RFID em ambiente simulado dentro de uma garagem de ônibus, com movimentação de veículos em rota pré-definida. Por meio da designação de cinco pontos de embarque e desembarque (PED) dos passageiros voluntários da pesquisa, foram buscadas as identificações dos locais onde ocorreram estes eventos, pelo registro de data, hora e coordenada geográfica, utilizando cartão inteligente para pagamento da tarifa. No cartão, inseriram-se dispositivos da tecnologia RFID que geraram dados que foram integrados com os dados produzidos por tecnologias de rastreamento da frota (GPS).

1.2. Organização

O trabalho está dividido em cinco capítulos que buscam elucidar os principais componentes de problemas da mobilidade urbana das pessoas relacionados com os serviços do transporte público e demonstrar uma metodologia que tem como base a utilização de recursos tecnológicos, notadamente, os da identificação por radiofrequência, para contribuir na solução.

No capítulo I, temas relevantes são expostos para contextualizar a mobilidade de pessoas e mostrar como impactos decorrentes do crescimento urbano e do desenvolvimento econômico são possíveis causas para o aumento do trânsito nas cidades; eles restringem a movimentação de pessoas nas oportunidades oferecidas no espaço urbano.

Os assuntos apresentados nesse capítulo passam pelos conceitos das cidades inteligentes, que são apoiadas por sistemas de coleta automática de dados, em busca da sustentabilidade e de melhorias na qualidade de vida dos habitantes, temas que mantêm forte relação com a mobilidade urbana e com os serviços do transporte público coletivo.

O capítulo II dedica-se às abordagens sobre a percepção dos passageiros sobre a qualidade do transporte e aponta, de forma sucinta, os principais aspectos da eficiência e os da ineficiência dos serviços.

Expõe as formas mais utilizadas para obter informações sobre o funcionamento do transporte público e a aplicação do modelo tradicional para planejar a rede de transporte, bem como a importância de matrizes origem-destino para representar os deslocamentos das pessoas.

No capítulo, descreve-se, numa visão geral, o Sistema Inteligente de Transporte (ITS) e o esforço para utilizar dados coletados eletronicamente para estimar informações sobre as características dos deslocamentos de passageiros nas cidades.

O capítulo III expõe temas relacionados às tecnologias de identificação automática e à captura de dados e suas aplicações mais importantes, onde a

tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) é delineada, apresentando, resumidamente, a sua história e identificando seus componentes, a forma como funciona e questões relacionadas à padronização e à regulamentação.

São apresentadas as principais vantagens e desafios na utilização da tecnologia RFID e abordados os aspectos sobre a segurança dos dados e sobre questões que afetam a privacidade das informações.

No capítulo IV é realizado o enquadramento empírico do modelo de utilização da RFID como uma alternativa para solucionar os problemas para obter dados que identificam os deslocamentos dos passageiros e, desta forma, produzir informações sobre a qualidade dos serviços de transporte.

São descritos os testes utilizados em uma prova do conceito para validar a proposta de automação de uma metodologia para a coleta de dados e os resultados obtidos são apresentados. No capítulo são apresentadas matrizes O/D e outras informações obtidas nos dados coletados.

O capítulo V apresenta as principais conclusões sobre o modelo proposto e as considerações sobre as oportunidades que ele poderá oferecer ao setor de transporte público e a outras atividades em que o atendimento ao público é considerado prioridade.

1.3. Contextualização e problemática

Pressionados por exigências da vida moderna nas cidades, governantes buscam organizar recursos e aprimorar estruturas de serviços para suportar os problemas causados pelo desenvolvimento econômico e crescimento urbano, e evitar saturar as infraestruturas que fornecem suporte cotidiano no funcionamento das cidades; que têm impactos diretos na qualidade de vida dos habitantes.

Como elemento estruturador da mobilidade, o transporte público de pessoas reveste-se da maior relevância na lista de prioridades das cidades. Neste sentido,

questões relacionadas à mobilidade urbana ganham importância, pois seu funcionamento é uma questão determinante na consolidação dos espaços urbanos.

A maior necessidade por mobilidade das pessoas está relacionada com o aumento da renda individual e com a ampliação da oferta de atividades nas regiões metropolitanas (VASCONCELLOS, 2001). As cidades que possuem este perfil, além de criarem mais oportunidades para os residentes, atraem mais imigrantes e aumentam a aglomeração urbana, gerando maior dependência em seus sistemas de funcionamento, notadamente, os do transporte público. Neste ciclo, serviços de transporte eficientes e bem dimensionados são condições estratégicas, pois mantêm regulares os deslocamentos e atendem critérios de qualidade (conforto, rapidez e segurança) com custo de produção adequado e tarifas acessíveis a todas as parcelas da população. Quanto maior for a relação entre o espaço urbano (e suas atividades) e a infraestrutura de transporte (e seus serviços), mais adequada será a condição para que indivíduos inseridos nestas atividades decidam por realizar viagens coletivas (NOVAES, 1996). Há então, após certo limite, a expectativa de aumentar o consumo dessas viagens em detrimento das individuais motorizadas.

Por outro lado, aumento na quantidade de pessoas que dependem do transporte para seus deslocamentos exige do serviço público maior oferta apoiada pela ampliação da capacidade de transporte, para que não haja desequilíbrio que possa repercutir, de forma negativa, na qualidade do serviço prestado.

O Órgão Gestor verifica, continuamente, os serviços da rede de transporte para corrigir planos, alterar programas de operação e tornar regular seu desempenho (NOVAES, 1996). Em muitos casos, os ajustes e ações de regularização são imperceptíveis para os usuários, pois mantêm a capacidade e a qualidade dos serviços em nível adequado de funcionamento (VASCONCELLOS, 2001).

A dificuldade é os Órgãos Gestores e as empresas de transportes demoram em promover tais ações de ajustes, o que, com o tempo, favorece a ineficiência dos serviços de transporte. Quanto mais demoram, mais conduzem os resultados do transporte público ao afastamento de seus objetivos. As ineficiências geradas influenciam nas decisões de indivíduos em optar por usos alternativos de transporte

para realizar seus deslocamentos, principalmente, por meio de automóveis particulares. Deste modo, quanto mais ineficientes forem os serviços do transporte coletivo, mais colaboram para o aumento do uso de veículos particulares. Este aumento resulta no desequilíbrio no consumo do espaço compartilhado para a circulação, pois ampliam índices de lentidão e congestionamentos nas vias urbanas, causando ineficiências que se refletem em todos os modais de transporte. Mais automóveis em circulação ampliam o consumo de espaço na infraestrutura das cidades, espaço este compartilhado com veículos do transporte coletivo, bicicletas e pedestres; aumentam-se, assim, os tempos de viagem, tornando os deslocamentos mais inseguros e trazendo prejuízos para a cidade e seus habitantes.

São efeitos negativos que são imediatamente percebidos pelas pessoas, quer sejam elas viajantes dos automóveis, passageiras nos ônibus, pedestres ou usuários de transportes não motorizados.

Em um ciclo perverso, serviços de transporte ineficientes, além de ampliar a própria ineficiência, produzem impactos negativos em outros setores das cidades. Maior emissão de poluentes, aumento dos acidentes de trânsito e perda de tempo por causa dos congestionamentos resultam na maior quantidade de pessoas doentes e feridas, que aumentam a demanda por serviços de saúde, reduzem a produção e o consumo e trazem prejuízos. Os congestionamentos e acidentes de trânsito desperdiçam energia e tempos, que poderiam ser aplicados na produção e no consumo, afetando a economia. Segundo o autor Cardoso (2008), os prejuízos causados por sistemas ineficientes de transporte são sentidos por todos, principalmente pelas pessoas de menor renda que mais necessitam deles.

A alternativa para que os governos possam conter ou eliminar os problemas apresentados é manter, por sua vez, ações contínuas suportadas por planos urbanos e sociais, buscando integração entre eles, almejando a organização das cidades.

Informações atualizadas e sistemas de acompanhamento com indicadores e alertas são importantes instrumentos que ampliam a capacidade dos gestores em possuir algum domínio sobre os problemas para alcançar maior celeridade em resolvê-los. No setor de transporte coletivo, conhecer características dos

deslocamentos cotidianos das pessoas permite ajustar serviços e planejar evoluções na rede de transporte.

No entanto, obter este conhecimento não se dá por lógica simples. Mesmo nas cidades que já realizaram grandes investimentos em Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), obter dados sobre as características das viagens dos passageiros do transporte público ainda é um desafio.

Para atender as exigências do setor de transporte, os ITS foram especializados para monitorar a frota, registrar ocorrências no trânsito e medir os tempos em que os serviços ocorrem, tornando-os, prioritariamente, instrumentos fiscalizadores. Os dados gerais costumeiramente coletados por equipamentos ITS como, por exemplo, registros de bilhetagem eletrônica e monitoramento de frota, ainda não permitem identificar, diretamente, os locais onde os passageiros iniciam e terminam suas viagens cotidianas. Indiretamente, com elevado grau de complexidade e esforço para superar este desafio, as agências conseguem estimativas dessa informação utilizando-se de referências que encontram nos dados coletados.

O método utilizado pelo setor de transporte coletivo para obter este tipo de informação com maior qualidade e precisão, é clássico. Utiliza levantamentos feitos por meio de pesquisas manuais de campo para entrevistar ou recolher dados dos passageiros. Entretanto, em cidades de maior porte, a complexidade do planejamento e da operacionalização dessas pesquisas exigem elevados dispêndios de recursos, que acabam por restringir a sua execução. Diante das restrições, as pesquisas são simplificadas e alcançam apenas uma amostra dos usuários do transporte público coletivo, pequena parcela das rotas das linhas e curtos períodos de tempo, pois são realizadas apenas em alguns horários do dia. Além disso, as edições de pesquisas que promovem a atualização das informações demoram longos intervalos de tempo para serem realizadas, podendo chegar a anos. O resultado é que as informações disponíveis, com o passar do tempo, tornam-se referências desatualizadas para os planejadores.

1.3.1. A cidade de São Paulo

Segundo o Observatório das Metrópoles (2014), a cidade de São Paulo está classificada como a quarta maior região metropolitana por habitação do mundo e abriga 11,8 milhões de habitantes em sua capital. A rápida urbanização horizontal na segunda metade do século XIX, quando a população ocupava cada vez mais regiões periféricas que se expandiam em torno do centro da cidade, trouxe consigo os problemas que impediam a mobilidade das pessoas devida, principalmente, à falta de investimentos na infraestrutura de transporte que acompanhasse esta expansão. As famílias que passaram a habitar nessas regiões eram, majoritariamente, de baixa renda e tinham no transporte coletivo sua única alternativa de deslocamento motorizado (FETRANSPOR, 2013).

As políticas de incentivo que facilitaram a compra de automóveis e insuficientes investimentos no transporte público, foram decisivos para que as pessoas, ao longo dos anos, substituíssem suas viagens no modo coletivo pelo individual motorizado. Em São Paulo, nos dias atuais, o deslocamento diário de pessoas por meio do transporte coletivo atinge apenas 55% de todos os deslocamentos realizados na cidade. Os resultados publicados pela pesquisa Origem-Destino 2007 (Metrô, 2008), explicam que os principais motivos das viagens são: trabalho, 44%; educação, 35%; outros motivos (bancos, serviços, etc.), 9%; lazer, 4%; saúde, 4% e compras, 4%.

Segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2014), o número de licenciamentos de automóveis alcançou sete milhões de registros e corresponde a 73% da frota de veículos da cidade de São Paulo. Cardoso (2009) estima que 1/3 dos veículos convivem diariamente, compartilhando a infraestrutura viária e conclui, em outro estudo, que qualquer ocorrência que possa interferir na fluidez do tráfego causa distúrbios na ocupação da capacidade das vias e influencia, diretamente, na redução da velocidade média dos veículos em circulação, afetando, inclusive, parcela significativa dos veículos destinados ao transporte coletivo (CARDOSO, 2005).

A cidade de São Paulo possui uma rede de transporte público (Metrô, trens e ônibus) que vem sendo consolidada no decorrer dos anos. De acordo com Ferreira,

et al. (2013), a gestão do sistema de ônibus na cidade de São Paulo é delegada, pela Prefeitura Municipal, a São Paulo Transporte S.A. – Sptrans, empresa pública que realiza o gerenciamento de 1,3 mil linhas onde 15 mil ônibus circulam numa malha viária de 4,5 mil quilômetros na área urbana. Os quilômetros percorridos nas viagens dos ônibus somam três milhões de quilômetros por onde são registradas dez milhões de viagens diárias de passageiros. Com estes números, a Sptrans realiza grande esforço de gestão em atividades de planejamento e logística para garantir o funcionamento cotidiano da rede de transporte.

Neste cenário, o aperfeiçoamento de processos de gestão do serviço público de transporte coletivo, notadamente, os de controle e planejamento, torna-se estratégico e tem importância vital no funcionamento da cidade, pois têm impactos diretos no bem estar das pessoas que por ela circulam.

2. AS CIDADES INTELIGENTES E OS FATORES QUE INTERFEREM NA MOBILIDADE URBANA

O desenvolvimento econômico e o crescimento urbano transformaram as cidades em metrópoles e depois em megalópoles. Metrópole é o termo empregado para designar as cidades centrais de áreas urbanas formadas por cidades ligadas entre si fisicamente (conurbadas) ou por meio de fluxos de pessoas e serviços ou que assumem importante posição (econômica, política, cultural, comercial, etc.) na rede urbana da qual fazem parte. Uma megalópole é uma extensa região urbana pluripolarizada por diferentes metrópoles conurbadas. Correspondem às mais importantes e maiores aglomerações urbanas da atualidade. São encontradas em regiões de intenso desenvolvimento urbano, e nelas as áreas rurais estão praticamente (senão totalmente) ausentes.

A compreensão do tema requer uma visão abrangente e revela vários agentes que impactam na questão, como o aumento no consumo dos recursos de funcionamento das cidades e baixa mobilidade urbana. Recentemente, para enfrentar os problemas e garantir bom desempenho econômico com qualidade de vida dos habitantes e maior proteção aos recursos naturais, iniciativas dos governantes apoiam-se, cada vez mais, nos conceitos de cidades inteligentes (*smart cities*).

2.1. Desenvolvimento econômico e o crescimento urbano

No último século, o ritmo acelerado do crescimento urbano populacional não teve precedentes na história global. Em 1950, havia apenas 83 cidades com mais de um milhão de habitantes e, em Nova York e Tóquio, o número de habitantes era o dobro do que o observado em outras cidades do mundo. O relatório Demographia (2014) descreve que, em 2014, existiam 29 megacidades com aglomerações urbanas que ultrapassavam dez milhões de habitantes. A Organização das Nações Unidas – ONU (2015), que revisou os indicadores sobre o crescimento populacional no mundo, projeta, para o ano de 2100, uma população de 11 bilhões de pessoas (Tabela 1) onde 70% delas residirão nos centros urbanos.

Tabela 1 – População mundial 2015 e projeção para 2030, 2050 e 2100

População do mundo nos continentes, 2015, 2030, 2050 e 2100.				
	População (em milhões)			
	2.015	2.030	2.050	2.100
Mundo	7.349	8.501	9.725	11.213
África	1.186	1.679	2.478	4.387
Ásia	4.393	4.923	5.267	4.889
Europa	738	734	707	646
América Latina e Caribe	634	721	784	721
América do Norte	358	396	433	500
Oceania	39	47	57	71

Fonte adaptada de: ONU (2015, p.1)

De acordo com estes resultados, a população mundial atingiu 7,3 bilhões no ano de 2015, o que implica que o mundo tenha adicionado cerca de um bilhão de pessoas durante os últimos doze anos. Sessenta por cento da população mundial vive na Ásia (4,4 bilhões), 16 por cento na África (1,2 bilhões), 10 por cento na Europa (738 milhões), 9 por cento na América Latina e no Caribe (634 milhões), e os restantes 5 por cento no Norte da América (358 milhões) e Oceania (39 milhões). China (1,4 bilhões) e Índia (1,3 bilhão) continuam a serem os dois maiores países do mundo, ambos com mais de 1 bilhão as pessoas, o que representa 19 e 18 por cento da população do mundo, respectivamente (ONU, 2015).

O ritmo do crescimento econômico que ocorreu devido ao bom desempenho da produção industrial e a posterior ampliação dos mercados em escala global atraiu mais pessoas para as áreas urbanizadas. Com o passar do tempo, ocorre o crescimento horizontal das cidades e a descentralização de moradias, trazendo, como consequência, a dificuldade de mobilidade urbana. Dessa forma, o consumo das infraestruturas das cidades aumentou a tal ponto que tornou saturada a capacidade de abastecer e atender às demandas sociais nos grandes centros urbanos, principalmente, nos países em desenvolvimento. Segundo os autores Ortúzar e Willunsen (2011), o crescimento econômico gerou níveis de demanda por serviços que excedem sua capacidade de oferta, notadamente, em países industrializados e em desenvolvimento. Os autores apontam que, mesmo com o minguamento de combustível, houve aumento geral do trânsito, o que resultou em congestionamentos para além do que é considerado como aceitável. Este cenário de

consumo, agregado a outras dificuldades como escassez de água, alimentos e até moradia, vem produzindo impactos na capacidade de várias cidades em suportar o funcionamento adequado da infraestrutura, distanciando-as das condições ideais de prover qualidade de vida.

Neste cenário, as gestões dos recursos de funcionamento das cidades são cada vez mais complexas diante dos sintomas do crescimento econômico e da concentração de pessoas nas áreas urbanas, pois enfrentam dificuldades para superar efeitos negativos em vários setores como nos da mobilidade urbana, saúde, segurança pública, abastecimento e na própria economia. Essas dificuldades conduzem à dispersão nas ações das políticas públicas, devido ao enfraquecimento da aplicação de investimentos, cada vez mais diluídos, para mitigar os efeitos sobrepostos entre os vários setores.

De acordo com os autores Ortúzar e Willunsen (2011), longos períodos de investimentos irregulares resultaram em sistemas de abastecimento de serviços (transporte, saúde, etc.) frágeis que parecem ineficientes para suportar as situações adversas provocadas pelas dificuldades por que passam. Os autores Friedmann (1986), Gupta (2002), Toppeta (2010) e Batagan (2011) concordam que, em algumas cidades, ilustra-se o fato de ser comum observar o incremento nos índices de acidentes e mortes no trânsito, acréscimo de problemas relacionados à poluição atmosférica, aumento da insegurança e crescentes taxas de desemprego, pobreza e maior exclusão social.

2.2. O trânsito de automóveis nas cidades

O trânsito tem definições comuns entre diversos autores. Para Rozestraten (1988, p.3), citando Meireles e Arrudão (1966), o trânsito é: "[...] o deslocamento de pessoas ou coisas pelas vias de circulação, distinto de tráfego, que seria o mesmo trânsito, mas em missão de transporte".

Rozestraten (1988, p.4) conclui que o trânsito é: "[...] conjunto de deslocamentos de pessoas e veículos nas vias públicas, dentro de um sistema

convencional de normas, que tem por fim assegurar a integridade de seus participantes.”

O Código de Trânsito Brasileiro – CTB, com base na Lei Federal nº 9503 (1997), nos artigos §1º e §2º, considera o trânsito:

“[...] a utilização das vias por pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga ou descarga e em condições seguras.”

Na definição feita por Vasconcellos (1985, p. 11), o trânsito é:

“[...] um conjunto de todos os deslocamentos diários, feitos pelas calçadas e vias da cidade, e que aparece na rua na forma da movimentação geral de pedestres e veículos. ”

Atualmente, grandes cidades ao redor do mundo sofrem por problemas causados pelos congestionamentos gerados por trânsito intenso e, muitas, já não possuem capacidade adicional para absorver aumento na quantidade de veículos que ocupam suas estruturas de circulação, com forte impacto na vida das pessoas. De acordo com o autor:

“[...] o trânsito é feito por pessoas, dentro de uma sociedade, com grandes diferenças sociais e políticas, com interesses diversos, surgindo como elemento básico, inevitavelmente o conflito: o trânsito é uma disputa pelo espaço físico, que reflete uma disputa pelo tempo e pelo acesso aos equipamentos urbanos, é uma negociação permanente do espaço coletiva e conflituosa. ”

Segundo a Comissão das Comunidades Europeias (2007), em praticamente todas as regiões centrais das cidades, o aumento do tráfego conduziu a um fenômeno de congestionamento crônico com inúmeras consequências que trouxeram consigo prejuízos causados pelo tempo perdido e pela poluição ambiental produzida.

No Brasil, os grandes aglomerados urbanos amargam, há muito tempo, congestionamentos que são cada vez maiores. Os autores Mortarie e Euzébio (2009) em um estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) quantificaram as perdas nas cidades brasileiras advindas do congestionamento em:

-
- Tempo adicional (perdido) de percurso dos usuários de automóvel e de transporte público coletivo nas vias principais e suas transversais;
 - Consumo excessivo de combustível;
 - Aumento da emissão de CO₂.

Os resultados demonstram que cidades como São Paulo perdem, em produção, R\$ 26,8 bilhões por ano, valor adicional de riqueza que poderia ser gerada, se o tempo perdido no trânsito fosse gasto na produção e consumo. Estima que as pessoas percam entre duas e três horas por dia no trânsito. Isto significa que no decorrer de um mês, as pessoas passaram, pelo menos, dois dias dentro dos ônibus ou dos carros.

Segundo Cohn (2014), num estudo sobre o trânsito que foi realizado nas principais cidades do mundo, as cidades brasileiras receberam classificação elevada no ranking das mais congestionadas. A metodologia utilizada neste estudo mediu as viagens no decorrer do dia e comparou a duração do tempo realizado entre períodos de pico e fora do pico. A diferença foi expressa como o aumento percentual médio no tempo de viagem. No estudo foram considerados os quilômetros percorridos nas estradas locais, em vias arteriais e rodovias. Todos os dados foram baseados em medidas reais de equipamentos com GPS, instalados em veículos e dispositivos portáteis móveis em cada cidade.

Foram avaliadas 180 cidades em diferentes continentes e as cidades brasileiras foram incluídas pela primeira vez na avaliação. Na comparação, o Rio de Janeiro foi classificado como a terceira cidade mais congestionada, enquanto que São Paulo aparece na quinta posição. Quando a pesquisa considera apenas as Américas, o Rio de Janeiro apareceu na primeira posição do ranking, enquanto São Paulo ocupou a terceira posição. Na Tabela 2, os dados demonstram o ranking das 10 cidades mais congestionadas das Américas:

Tabela 2: Ranking das dez cidades mais congestionadas da América.

TOP 10 CITIES AMERICA								
RANK	CI CHANGE	CITY	COUNTRY	CONGESTION	MORNING PEAK	EVENING PEAK	HIGHWAYS	NON-HIGHWAYS
1	▲	Rio de Janeiro	Brazil	55%	84%	115%	45%	58%
2	▼	Mexico City	Mexico	54%	88%	89%	43%	60%
3	---	São Paulo	Brazil	46%	66%	95%	30%	52%
4	▲	Los Angeles	United States	36%	55%	75%	34%	38%
5	▲	Vancouver	Canada	35%	55%	70%	21%	39%
6	▲	San Francisco	United States	32%	48%	66%	28%	36%
7	▼	Honolulu	United States	29%	48%	65%	23%	33%
8	▲	Seattle	United States	27%	47%	68%	23%	31%
9	▲	Toronto	Canada	27%	48%	63%	22%	31%
10	▲	San José	United States	26%	50%	68%	19%	34%

Fonte: TomTom, 2013.

No Brasil, políticas públicas e estratégias do mercado financeiro e automotivo favoreceram, ao longo dos últimos anos, maior acesso ao crédito, longos prazos de financiamento e oferta diversificada de veículos, aumentando, substancialmente, o número de unidades vendidas.

Ocorre que estes veículos somam-se a outros em circulação e tomam para si maior espaço dentro das cidades, e consomem, à exaustão, a capacidade das vias e locais para estacionamento. Apesar dos benefícios individuais, trouxeram consigo efeitos sociais negativos devidos aos impactos em várias áreas de funcionamento das cidades, por exemplo, nas áreas da saúde pública, onde aumentaram as ocorrências de pessoas com problemas cardiorrespiratórios, alérgicos, estresse e mortes devido a acidentes. Vasconcellos e Lima (1998) afirmam que a apropriação abusiva do espaço viário pelo transporte individual, impõe externalidade perversa a outros usuários do espaço urbano, principalmente a pedestres e viajantes dos transportes não motorizados, submetendo-os, irresponsavelmente, ao risco.

Segundo afirma Scarlato (1989), o que ocorreu, de fato, foi que o automóvel acabou remodelando as cidades deste século, reformulando a noção de espaço e distância, além de modificar os hábitos das pessoas. O aumento da circulação de automóveis acontece em detrimento do transporte público coletivo, que passa a disputar seu espaço com quantidades cada vez maiores de concorrentes.

Melo (2000) escreve que o automóvel permite maior independência no trânsito porque torna mais flexível o deslocamento e, por isso, é um meio de transporte conveniente e que atende bem a uma viagem de cunho pessoal. Salienta, no entanto, que as vantagens desaparecem quando se está em ambientes cada vez mais congestionados. Para Vasconcellos (2001) a escolha pelo automóvel, por parte de quem tem possibilidades de escolher, decorre de uma avaliação racional das suas necessidades de deslocamento, frente aos condicionantes econômicos e de tempo, e frente ao desempenho relativo dos transportes disponíveis. Contudo, o uso indiscriminado do automóvel leva a consequências negativas, tanto ao meio ambiente quanto à fluidez do trânsito. O trânsito excessivo nas grandes cidades provoca consequências muito mais graves do que os atrasos e transtornos enfrentados diariamente pelos motoristas e passageiros do transporte individual e do coletivo. Os congestionamentos custam muito dinheiro, prejudicam a saúde da população e atrapalham o crescimento do país; portanto, resolver (ou amenizar) o problema não é apenas uma questão de conforto e bem estar, mas é, também, um importante incentivo ao desenvolvimento econômico e social. Neste contexto, o sistema de transporte coletivo destaca-se, pois apoia políticas públicas de restrição na circulação de veículos particulares.

2.3. A cidade e o ambiente inteligente

Para enfrentar os problemas decorrentes do crescimento populacional e do consumo excessivo dos recursos naturais, representantes dos segmentos políticos, acadêmicos e empresariais discutem sobre a concepção de cidades mais inteligentes, para identificar alternativa em que haja maior sensatez no consumo dos recursos, melhores condições para qualidade de vida dos habitantes e oportunidades de ampliação da economia durante os próximos anos.

Na visão de diversos autores, o conceito de cidades inteligentes (*smart cities*) atende a estes requisitos, pois visa produzir serviços que reconheçam as demandas sociais, provendo atendimentos que aperfeiçoem a relação entre os cidadãos e a cidade, tendo, como base, o uso intenso de tecnologias da informação e comunicação (TIC) e respeito às fontes naturais de recursos.

Segundo os autores Hall, et al. (2000) a cidade inteligente tem a capacidade de monitorar suas infraestruturas centrais e integrar seus serviços com melhores condições de operação para garantir seu funcionamento.

Kanter e Litow (2009) descrevem as cidades inteligentes como aquelas que são capazes de promover a integração entre suas estruturas de comunicação e informação para garantir o abastecimento de serviços. Afirmam que o ambiente integrado colabora para que se possam desenvolver inovações em diversas áreas. O funcionamento de sistemas interoperáveis e a oferta de serviços integrados promovem competitividade econômica e são projetados para proteger o meio ambiente, ampliando os benefícios que facilitam as atividades das pessoas e melhoram a qualidade de vida.

Segundo o relatório da IBM (2009), cidades inteligentes podem ser definidas como uma arquitetura de comunicação e de serviços funcionando sob plataformas abertas, capazes de integrar componentes considerados críticos das cidades, como a infraestrutura residencial e comercial, circulação e transportes, saúde, segurança, gestão de recursos naturais, controle de resíduos, educação, cultura, administração e fornecimento de serviços públicos, que tornam a cidade mais integrada.

Washburn e Sindhu (2010) consideram que estas cidades são aquelas que adotaram tecnologias interoperáveis e interconectadas nas infraestruturas que suportam atividades críticas da administração pública como educação, transporte, segurança e saúde. Afirmam que serviços com processos interconectados são mais eficientes, pois reduzem o custo de operação e melhoram o atendimento às comunidades e seus cidadãos.

O autor Toppeta (2010) acrescenta que a disponibilidade de informações e o fácil acesso à internet pelas organizações e pelas pessoas são condições imprescindíveis para que as estruturas organizacionais possam tornar eficientes os processos de fornecimento de serviços, inclusive, os públicos.

Giffinger e Gudrun (2010) ponderam que as cidades inteligentes dependem de atitudes decisivas, interdependentes e conscientes de representantes do setor público e do privado para serem construídas com combinação inteligente. Assim,

permitem que segmentos econômicos, da governança, mobilidade urbana e do meio ambiente sejam administrados com visão de futuro.

Segundo Dutta (2011), as cidades inteligentes baseiam seus processos de gestão em visões modernas do desenvolvimento urbano e utilizam, intensamente, recursos de TIC para direcionar ações e aumentar o desempenho econômico nos negócios, que ganham abrangência em mercados globais com maior competitividade. Norteiam-se em conceitos de sustentabilidade ambiental e, assim, reúnem características que vão além dos aspectos técnicos que fundamentam as cidades digitais inteligentes.

Nam e Pardo (2011) escrevem que o funcionamento dos recursos integrados nas cidades inteligentes produz informações de uso comum e que os serviços são desburocratizados quando fornecidos de forma integrada. A busca pela interoperacionalidade passa, obrigatoriamente, por estratégias para superar as dessemelhanças entre sistemas de organizações diferentes para que possam ser conectados. Neste contexto, a tecnologia da informação e comunicação tem fundamental participação para prover a conexão dos sistemas e permitir que fatos do cotidiano possam ser monitorados e registrados em tempo real, compartilhados entre as organizações e disponibilizados como serviços aos cidadãos, promovendo-lhes facilidades.

Os autores Bifulco et al. (2013) afirmam que o crescimento sustentável das cidades é um dos principais desafios para a qualidade de vida e levaram a iniciativas das cidades inteligentes. Descrevem que as cidades que seguem este conceito têm, como base, um arcabouço de recursos de tecnologia que buscam o funcionamento interoperável de serviços para tornar eficientes os processos da governança e promovem maior integração entre o setor público, empresas privadas e cidadãos.

A necessidade de comunicação entre "coisas" em uma infraestrutura integrada deu base ao conceito denominado como Internet das Coisas (Internet of Things – IoT) que estuda, desenvolve e define temas ligados à interoperabilidade de redes de objetos e produtos de natureza variada. A IoT propõe o funcionamento dessas estruturas para ampliar facilidades e benefícios nos setores público e privado, para melhorar os negócios com proteção ao meio ambiente e promover

facilidades para as pessoas, temas que atendem aos requisitos definidos pelas cidades inteligentes. Nos dias atuais é muito comum encontrar, e utilizar, sistemas que facilitam a vida cotidiana, economizando tempo das pessoas para executar atividades. Longe dos olhos, equipamentos diversos integram-se enquanto se comunicam e trocam dados quando monitoram eventos que foram programados a captar. Neste ambiente, sistemas digitais funcionam automaticamente, sem a necessidade de fios ou intervenção humana. Utilizam sensoriamento para registrar, identificar, medir, acompanhar e compreender fluxos de pessoas, veículos, animais, objetos, cargas e recursos do meio ambiente.

As tecnologias evoluem para adquirir capacidade de gerenciar megadados (*Big Data*) integrados de diferentes fontes e com grande poder de gerar informação. De acordo com Gubbi et al. (2013), é inevitável a evolução dos sistemas para permitir consultas autoconfiguráveis em grande número de dados. Os autores explicam que estes sistemas utilizam serviços onde a parte física e lógica não é mais problema para as pessoas, e sim, para centros especializados de tecnologia que oferecem seus serviços à distância, utilizando Computação em Nuvem (*Cloud Computing*), alcançando, inclusive, usuários comuns. A Computação em Nuvem é um conceito de computação que se refere à utilização da memória e das capacidades de armazenamento e cálculo de computadores e servidores compartilhados e interligados por meio da Internet.

O Cluster of European Research Projects (CERP-IoT, 2009) considera que os conceitos envolvidos nas novas tecnologias e sistemas computacionais são abrangentes, mas utilizam a internet e comunicações sem fio para obter altíssimas quantidades de dados para processá-los em sistemas de alta disponibilidade. Estas tecnologias consideram que coisas físicas e virtuais têm identidades na rede de informação e usam de interfaces inteligentes para perceber e reagir a eventos, participando ativamente de processos sociais, sem ter, necessariamente, participação humana direta.

A Computação Pervasiva (também chamada de Computação Ubíqua ou Computação Ambiental) tem, como objetivo, tornar a interação homem-computador transparente, ou seja, integrar a tecnologia com as ações e comportamentos

naturais das pessoas. Além disso, sistemas inteligentes estão conectados ou, procurando conexão todo o tempo, alcançando o ambiente que as pessoas frequentam. Segundo os autores Friedewald et al. (2005), o conceito de inteligência ambiental ou Aml (acrônimo inglês de Ambient Intelligence) é uma visão na qual os seres humanos estão cercados pela computação e tecnologias de redes por todo ambiente no qual participam, melhorando suas condições de vida.

2.4. A mobilidade urbana

A mobilidade urbana é um conceito multidisciplinar e envolve vários setores da sociedade. É relacionada às necessidades que têm as pessoas de se deslocar e possui várias interpretações, muitas vezes convergentes entre as opiniões de vários autores. Numa definição resumida e geral, trata-se da capacidade decorrente das condições físicas e econômicas da movimentação de pessoas por motivo determinado, de um local a outro.

Segundo os autores Morris et al. (1978), a mobilidade é a capacidade de uma pessoa se locomover de um ponto para outro de acordo com a disponibilidade de transporte, inclusive a pé. Os autores Tagore e Sikdar (1995) acompanham este raciocínio e complementam que o deslocamento das pessoas de um lugar para outro está em função do desempenho do sistema de transporte. O autor Raia Júnior (2000), citando Jones (1981), explica que ela é a capacidade de o indivíduo deslocar-se em função da atuação e disponibilidade do sistema de transporte e das características que ele próprio possui ou tem acesso. Conforme a interpretação dos autores Akinyemi e Zuidgeest (1998), a mobilidade é decorrência das viagens realizadas pelo indivíduo, ou seja, considerando o número de quilômetros percorridos e o modo de deslocamento. Para o Ministério das Cidades (2005), mobilidade urbana é um atributo das cidades, e é resultado da interação entre deslocamentos de pessoas e bens com a cidade, sendo mais abrangente do que apenas o transporte urbano. Envolve a infraestrutura, como vias e tipos de pavimento, características como largura e relevo, etc., e elementos da sinalização, calçadas e iluminação, que facilitam o ir e vir das pessoas e bens pelos espaços urbanos.

De acordo com o Tribunal de Contas da União (TCU, 2010), órgão que exerce a fiscalização da União, o Governo Federal tem debatido as questões sobre a mobilidade urbana para uma definição sobre o assunto. Segundo o órgão, a definição de mobilidade urbana era o deslocamento de pessoas e bens, mediante a utilização de veículos, de vias públicas e da infraestrutura disponível. Diferente deste entendimento, a nova definição tem foco nas pessoas (não nos veículos) e na infraestrutura, podendo vincular-se, assim, diretamente, à organização territorial e à sustentabilidade das cidades.

Segundo a Lei Federal nº12587 (2012), chamada "Lei da Mobilidade", que instituiu as diretrizes da Política Federal de Mobilidade Urbana Brasileira, a mobilidade urbana é considerada como a condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano. A autora Kneib (2012) escreve que a mobilidade depende da união e articulação entre políticas públicas de transporte, trânsito, desenvolvimento urbano, acessibilidade e ocupação e uso do solo e sofre impactos de políticas relacionadas à segurança pública, ambientais, culturais e saúde.

2.4.1. As deficiências na mobilidade urbana

De acordo com o que afirma Vasconcellos (2001), nas classes sociais mais altas, as pessoas têm maior mobilidade, pois apresentam maior renda e possuem acesso aos automóveis. Suas viagens têm maior distância percorrida e são mais frequentes do que as realizadas pelas pessoas com menor renda. O autor entende que os espaços urbanos disponíveis para circulação são consumidos de forma diferente, refletindo as diferentes condições sociais e econômicas entre as famílias. Pessoas das classes sociais mais pobres consomem menor número desses espaços e com menor frequência. Casos como os das pessoas com mobilidade reduzida ou idosas com dificuldades de deslocamento representam, também, situações de baixa mobilidade.

Gomide (2006) acrescenta que a ausência das condições estruturais da mobilidade urbana nas cidades, que afetam a disponibilidade de serviços de

transporte, dificulta o acesso ao transporte coletivo. Afirma que a infraestrutura viária, ausente ou degradada, exclui parte da população do uso dos serviços essenciais e das oportunidades que as cidades oferecem, colaborando para a continuidade das condições de pobreza urbana, pois amplia as barreiras para a inclusão social.

Outro aspecto das deficiências é que a mobilidade urbana é fortemente afetada por trânsito de automóveis e congestionamentos. Nos grandes centros urbanos das cidades brasileiras, o atual modelo de mobilidade foi construído em torno do automóvel, que resulta hoje em congestionamentos. O tempo perdido é sentido, também, pelos passageiros do sistema de transporte público, cujos ônibus ficam presos em engarrafamentos cheios de carros. A perspectiva de que as cidades continuem a se expandir resulta na pressão sobre as áreas reservadas para a preservação e cujos efeitos negativos e custos são socializados (XAVIER e BOARETO, 2005).

2.4.2. A acessibilidade ao sistema de transporte

A acessibilidade mede o potencial de deslocamentos das pessoas e pode ser explicada, na definição de alguns autores, como a relação entre o espaço urbano e a atração de pessoas envolvidas em atividades. Ela pode ser definida como a capacidade pela qual as cidades promovem facilidades para que seus habitantes possam superar barreiras nas ligações que levem aos lugares em que desejam chegar. Alguns dos principais problemas urbanos estão associados por dificuldades que as pessoas têm em chegar aos locais onde desempenham suas atividades. São dificuldades na acessibilidade e, geralmente, afetam o conforto, a segurança e a garantia de chegar ao destino no tempo certo.

Hansen (1959) explica que a acessibilidade é uma medida de distribuição espacial das atividades e que está em função da habilidade de pessoas e empresas em superar distâncias.

Para Ingram (1971) o acesso aos locais distintos contém barreiras de tempo e espaço que precisam ser superadas e as dificuldades (ou facilidades) para fazê-lo definem a acessibilidade.

Davidson (1977) avaliou a relação entre a densidade urbana e a acessibilidade e definiu que as barreiras de tempo e distância estão em função das características do sistema de transporte, da atratividade gerada e do custo percebido para realização das viagens.

Para Jones (1981), é a oportunidade que um indivíduo possui para participar de atividades em função do local onde ele está. Assim, é uma função da mobilidade da própria pessoa que considera as oportunidades em que pode participar das atividades e dos períodos em que a atividade está disponível.

Vasconcellos (1985) acrescenta que a acessibilidade não deve considerar apenas a capacidade de se deslocar no espaço entre uma origem e um destino, mas abrange, também, a facilidade com que é realizada e tem como principais medidas, o tempo e o custo envolvido.

Ferraz (1988) resume a acessibilidade relacionando-a com a distância que o usuário tem que caminhar para utilizar o transporte a fim de realizar uma viagem coletiva, compreendendo a distância da origem da viagem até o local de embarque e deste até o destino final.

Segundo os autores Tagore e Sikdar (1995) e Raia Júnior et al. (1997), envolve uma combinação entre a localização de destinos que se pretende alcançar e as características da rede de transportes que une os locais de origem e destino, devendo considerar as características da população residente.

Litman (2003) descreve que representa, essencialmente, a capacidade do indivíduo em alcançar bens, serviços e participar de atividades que, coletivamente, representam “as oportunidades” do local ou região de destino.

Cardoso (2008) escreve que a acessibilidade é representada pela forma em que se superam obstáculos espaciais medidos pelo tempo e distância dos deslocamentos. Afirma que é uma característica inerente a um local ou região.

O autor conclui que não é suficiente ter condições de fazer uso do sistema de transporte que funcione com frequência adequada (que garanta a mobilidade), se não há a possibilidade de acesso ao local para utilizá-lo. Assim, o melhor cenário para viajantes seria quando os locais de interesse para suas atividades fossem próximos ou quando os pontos de embarque e desembarque (PED) estivessem a curta distância dos locais de origem ou destino das viagens.

Os autores Geurs e Wee (2004) afirmam que, apesar do papel importante que a acessibilidade desempenha na formulação de políticas de transporte e de desenvolvimento urbano, muitas vezes tem interpretação enviesada, o que resulta em providências equivocadas, que não melhoram sua condição.

A autora Handy (2005) afirma que políticas públicas que buscam organizar a expansão urbana, muitas vezes, consideram os locais onde não existem interesses de se habitar, pois são menos atraentes quando comparados a centros urbanos consolidados.

Para Noble e Potter (1998), estas políticas obrigam indivíduos a realizarem viagens cada vez mais longas. Cardoso (2008) conclui que ações para prover acessibilidade são segregacionistas, principalmente em grandes centros urbanos, onde alcançam apenas a acessibilidade ao trabalho e não a serviços públicos como, por exemplo, saúde e lazer.

Alba (2003) considera que, enquanto o aumento da acessibilidade está associado à redução de problemas no trânsito de pessoas e bens para reduzir tempo ou distâncias, a mobilidade, na maioria dos casos, passa a ser um indicativo de congestionamento.

Além disso, há necessidade de se considerar os aspectos relacionados às barreiras que representam dificuldades para a acessibilidade. Estes aspectos são relacionados à geografia e seu relevo, que criam obstáculos de se transpor os espaços, pois geram maior esforço e dispêndio de tempo para superá-los.

As barreiras do ambiente são relacionadas aos sentimentos que as pessoas têm sobre a segurança e o conforto no deslocamento. Percepções insatisfatórias

sobre estes quesitos levam os indivíduos a considerar o ambiente como barreira que afeta a acessibilidade para realizar a viagem e, por este motivo, muitas vezes nem o fazem.

O autor Wardman (2001) considera que a disponibilidade de informações ajuda a organizar e a compartilhar os espaços públicos e elimina barreiras significativas para a utilização dos serviços. Afirmar que as informações podem ajudar a reduzir muitas das incertezas que atuam como barreiras no transporte público, pois superam a preocupação do usuário sobre onde encontrar os serviços.

As dificuldades que são provocadas pelas barreiras na acessibilidade levam a prejuízos no funcionamento das cidades e na qualidade de vida das pessoas, pois interferem na garantia de que os trabalhadores cheguem ao local de trabalho, consumidores possam adquirir produtos e estudantes possam chegar aos lugares de aula. Em alguns casos, as dificuldades podem levar à desativação de postos de trabalho ou desinteresse de empresas em instalar novos postos em locais mais distantes, desestruturando o crescimento urbano sustentável (SALES FILHO, 1996).

2.5. As cidades e o transporte sustentável

Não existe uma definição única para sustentabilidade que seja aceita globalmente (RIGBY et al. 2000). Da mesma forma, não foram encontradas definições únicas para desenvolvimento sustentável ou ainda, transporte sustentável (BEATLEY, 1995). Geralmente, as definições concordam na proteção e defesa da saúde do meio ambiente, com inovações cada vez mais presentes nas políticas públicas que promovam cidadania e reduzam desigualdades para desenvolver ambiente saudável à vida das pessoas (BARTLETT, 2012).

A Organização das Nações Unidas - ONU, em seu Programa para os Assentamentos Humanos, descreve no relatório UN-Habitat (2002), que o pressuposto para uma cidade receber a classificação de sustentável será quando alcançar a capacidade de enfrentar os seus desafios, atuais e futuros, compatível com o equilíbrio sustentável global.

Os autores D'Andrea e Raia Jr. (2006) afirmam que apenas tem sentido pensar em desenvolvimento urbano quando este for mantido por um conceito de sustentabilidade.

Para o autor Alba (2003), criar regiões habitáveis e com diferentes modos sustentáveis de transporte passa por encontrar formas mais eficientes para conectar as origens e os destinos das pessoas, reduzindo o uso dos automóveis. Defende que é melhor definir metas para o futuro com base nas experiências passadas e nas tendências atuais, uma vez que as tentativas de prever os padrões de acessibilidade sustentável para horizontes futuros são bastante complexas, pois dependem de outros fatores, como, por exemplo, as indefinições políticas e mudanças nos valores da sociedade, dos quais não se podem estimar suas dimensões.

Litman e Burwell (2006) explicam que os planos que buscam a sustentabilidade têm de ser integrados entre várias áreas, pois tendem a tornar economicamente diversificados sistemas de transporte que colaboram no uso eficiente do solo e reduzem a dependência do automóvel particular. Esses planos alteram o consumo de recursos e tornam mais eficientes os sistemas de produção, beneficiando a economia. Reduzem os impactos ambientais nocivos, protegem a qualidade de vida das pessoas e melhoram a mobilidade para não condutores de veículos.

Os autores Lautso, K. et al. (2004) pesquisaram políticas públicas em sete cidades europeias que utilizavam diferentes formas de ocupação do solo e de modelos de transporte. Após a pesquisa, apresentaram recomendações relacionadas ao uso do solo integrado ao transporte com uma abordagem global para avaliação estratégica no desenvolvimento urbano sustentável. A ideia central foi reduzir o uso de automóveis para o deslocamento de pessoas por meio de opções do transporte coletivo. Por via de regulamentação reduziram a velocidade média dos automóveis, aumentaram a velocidade do transporte coletivo e tornaram atraentes suas tarifas. Os melhores resultados foram obtidos com a combinação de políticas públicas onde houve alteração nos preços sobre a venda de automóveis e combustíveis, tendo, na contrapartida, redução nos preços do transporte público.

Os principais elementos para atingir um conjunto equilibrado de objetivos ambientais, sociais e econômicos de longo prazo incluíram:

- Combinar políticas de preços para utilizar automóveis particulares (preços de estacionamento e pedágios), criar restrições na circulação de automóveis nas áreas congestionadas e não congestionadas e reduzir tarifas do transporte público, com flexibilidade de preços entre horários de pico e entre picos;
- Orientar esforços de investimentos em transportes para adequação da oferta de lugares e controle da fluidez para atendimento às demandas afetadas pelas políticas do item anterior;
- Tornar atrativo o deslocamento pelo modo coletivo, aumentando a oportunidade das pessoas para usá-lo por duas formas: desenvolvendo a rede de transporte público para suporte aos deslocamentos das pessoas que residem em locais próximos às áreas centrais e implantando corredores, sistemas de controle e procedimentos para aumentar a velocidade do transporte das pessoas que residem mais na periferia.

3. O TRANSPORTE COLETIVO

Poucas opiniões concordam sobre como se constitui o transporte público e quais diferenças existem entre as atividades de transporte de pessoas no modo coletivo privado, público ou individual. Todavia, concordam que o transporte contribui para o bem estar de segmentos da sociedade, sendo, portanto, de interesse público. É um bem coletivo que é fornecido pelos estados por causa das falhas de mercado, que tem custos com as operações e sua manutenção e grande rentabilidade nas operações com elevadas taxas de retorno. No transporte coletivo, depois de amortizados os investimentos, custos da operação e impostos, se auferem lucros que podem ser aumentados no modo privado, devido a problemas de fiscalização do Órgão Gestor. Estes custos e lucros não podem ser indevidamente capturados por causa de problemas de monopólio que tem potencial de abuso de poder (GLOVER, 2011).

Com base nos princípios gerais emanados pela Constituição Federal do Brasil, as Constituições Estaduais e Leis Orgânicas Municipais delegam aos órgãos da administração municipal ou estadual as responsabilidades para organizar, desenvolver, tarifar e fiscalizar o sistema de transporte público coletivo com o objetivo de garantir o transporte das pessoas. Em São Paulo, a Lei Municipal Nº 13.241 de 12 de dezembro de 2001 dispõe sobre a organização dos serviços do Sistema de Transporte Coletivo Urbano de Passageiros e define, no capítulo I, Artigo 1, parágrafo 1º, que: "O Transporte Coletivo Público de Passageiros é serviço público essencial, cuja organização e prestação competem ao Município, [...]."

O artigo terceiro da referida Lei complementa:

Para a consecução das competências previstas [...], o Poder Público deverá observar as seguintes diretrizes:

I - planejar o funcionamento do Sistema de Transporte Coletivo Urbano de Passageiros, com a finalidade de evitar a concorrência entre os regimes de prestação do serviço;

II - universalidade de atendimento, respeitados os direitos e obrigações dos usuários;

III - boa qualidade do serviço, envolvendo rapidez, conforto, regularidade, segurança, continuidade, modicidade tarifária, eficiência, atualidade

tecnológica e acessibilidade, particularmente para as pessoas com deficiência, idosos e gestantes;

IV - prioridade do transporte coletivo sobre o individual;

V - integração com os diferentes meios de transportes, em especial com o metrô e com as ferrovias metropolitanas;

VI - redução das diversas formas de poluição ambiental, conforme as prescrições das normas técnicas e dos padrões de emissão de poluentes;

VII - descentralização da gestão dos serviços delegados;

VIII - estímulo à participação do usuário na fiscalização da prestação dos serviços delegados;

IX - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano da Cidade definidas no Plano Diretor, [...].

A Lei Federal Nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, define, no seu Art. 4º, VI que: "[...] o transporte público coletivo é um serviço público de transporte de passageiros acessível a toda a população mediante pagamento individualizado, com itinerários e preços fixados pelo poder público".

Por ser de interesse comum, o transporte público colabora para o funcionamento de outros serviços públicos e promove o desenvolvimento do setor privado produtivo (NETO, 2004). Assim, ao se observar a complexidade das atividades urbanas, econômicas e sociais, um importante aspecto a ser considerado sobre o desenvolvimento das cidades são as ações de incentivo ao uso dos serviços do transporte público pelas pessoas. São ações que tanto precisam funcionar integradas em vários níveis da administração pública como, também, agir no desestímulo ao uso do transporte motorizado individual, pois têm o potencial de retirar parcela de veículos em circulação, principalmente nos períodos compreendidos pelos horários de picos dos deslocamentos. Constroem-se, assim, importantes condições para a mobilidade urbana.

Os autores Mathew e Rao (2006) explicam que o transporte é uma parte não separável de qualquer sociedade. Ele exhibe uma relação muito estreita com o estilo de vida, o alcance e a localização das atividades, produtos e serviços que estarão

disponíveis para o consumo. Por outro lado, o transporte também consome uma grande quantidade de recursos como tempo, combustível, materiais e solos. Segundo os autores Ferraz (1998) e Ortúzar e Willumsen (2011), um sistema de transporte público que funcione de forma adequada às necessidades das pessoas e ao desenvolvimento da cidade fortalece a distribuição racional do uso e ocupação do solo e aperfeiçoa a distribuição dos recursos públicos, pois permite investimento em setores de relevância social.

Mathew e Rao (2006) afirmam que a inter-relação entre o transporte e o resto da sociedade promove maior integração e interdependência entre eles. Devido às mudanças, que por vezes são rápidas e significativas, são causados impactos que podem desequilibrar esta relação. Os autores propõem o acompanhamento de quatro dimensões críticas que devem ser identificadas para desenvolver uma perspectiva correta para manter o equilíbrio:

- Alteração da procura: quando há mudanças no padrão de renda das pessoas, modificação na população devido ao aumento ou redução de residentes e alterações no uso e ocupação do solo;
- Mudanças na tecnologia: os sistemas de transporte de alta capacidade devem ser considerados, como os sistemas de Metrô e BRT (*Bus Rapid Transit*) com frota de veículos modernos, que consomem menos energia, poluem menos e têm menor impacto no meio ambiente.
- Mudanças operacionais: são medidas que alteram a configuração do transporte, no sentido de melhorar a mobilidade das pessoas. Há uma variedade de opções como, por exemplo, adoção de políticas tarifárias socialmente inclusivas, sistemas de prioridade para o transporte público, medidas de desestímulo ao transporte individual motorizado e encorajamento de iniciativas coletivas para uso de transporte solidário, colaborativo e compartilhado.
- Mudança nos valores do público: o transporte público não beneficia, necessariamente, as camadas mais pobres da sociedade, mas deve atrair usuários de automóveis particulares e indivíduos de maior renda.

Segundo os autores Mathew e Rao (2006), os sistemas de transporte possuem características que os tornam complexos e diversos, pois são:

- Multimodais: abrangem todos os modos de transporte;
- Multisetoriais: englobam problemas em vários níveis sob o ponto de vista da sociedade, do governo e da indústria privada e pública;
- Multiproblemas: incluem as determinações emanadas pelas políticas públicas, institucionais e financeiras que definem o planejamento regional, localização e concepção de instalações específicas e de suporte ao funcionamento do setor de transporte, sustentação econômico-financeira e dos aspectos legais que o delimitam;
- Multiobjetivos: têm em vista o desenvolvimento econômico nacional e regional, o desenvolvimento urbano, proteção ao meio ambiente, qualidade e justiça social;
- Multidisciplinar: adotam as teorias e métodos de engenharia, economia, logística, ciências políticas, psicologia, ciências sociais, arquitetura, urbanismo, administração pública e privada, instituições do direito e outras diversas áreas do conhecimento.

Ao analisar o sistema de transporte, Zegras e Birk (1993) apontam que é necessário que seja sustentável e que tome como base três critérios importantes: sustentável ecologicamente, com emissões de poluentes inferiores aos que seres vivos possam suportar; sustentável financeiramente, tendo condições de operação e manutenção de baixo custo; e socialmente sustentável, atendendo todas as classes sociais, culturais, educativas ou econômicas da população.

3.1. Condições que provocam ineficiência nos serviços públicos de transporte

O transporte público coletivo, apesar do fato em que pese a sua relevância para que o desafio da mobilidade urbana nas cidades seja superado, ainda concentra pontos que são críticos devido à pouca atenção que recebe dos governos, órgãos públicos e empresas prestadoras do serviço. O minguamento dos investimentos no setor leva à precariedade dos serviços que sofrem devido a um

planejamento deficiente e falta de transparência na gestão. Faltam investimentos em sua estrutura de funcionamento que carece de inovações para aperfeiçoar o controle a fim de que bons serviços sejam oferecidos. A ausência de informações que permitam avaliações mais precisas contribui para esse cenário de ineficiências, pois produz maior descontrole.

Neste quadro, o transporte público coletivo tem sido preterido pelo transporte individual motorizado nos deslocamentos das pessoas ao longo do tempo, pois perde, cada vez mais, a competitividade nos quesitos do conforto, privacidade, flexibilidade e rapidez. Conforme os autores Ferraz et al. (1991b), alterou-se nas últimas décadas a distribuição modal, à medida que o cidadão realiza mais deslocamentos por automóveis. A perda de passageiros do transporte coletivo para alternativas de transporte agrava as condições de investimento das empresas operadoras dos ônibus, deteriorando, ainda mais, a qualidade e a eficiência (RESENDE et al. 2010).

Os autores Barat e Batista (1973) acrescentam que o aumento da produção de veículos e o favorecimento do transporte individual em detrimento do coletivo beneficiam uma minoria e implicam na deterioração da qualidade de vida dos não proprietários de veículos, pois conduzem os serviços dos ônibus à ineficiência, prejudicando a qualidade do serviço oferecido a este estrato da população. Uma comparação que ilustra a desproporção entre os modos de transporte individual e coletivo foi feita pelos autores FERRAZ e SILVA (1991a). Consideram que um automóvel transporta, em média, 1,5 passageiros e ocupa cerca de sete metros quadrados de espaço viário; tem-se, então, que cada passageiro ocupa cerca de cinco metros quadrados de via. Um ônibus ocupa cerca de 30 metros quadrados de via e transporta a média de 60 passageiros, o que resulta em uma área de meio metro quadrado por passageiro. Estes números mostram que o automóvel consome, aproximadamente, dez vezes mais espaço viário que o ônibus.

Vasconcellos (1985) considera que esta disputa pelo espaço gera o conflito físico, acarretando a necessidade de negociação desse espaço pautada pelo poder real ou imaginário de cada ator social envolvido. Para o autor Neto (2004), dificuldades que implicam em disfunções no planejamento e na gestão do transporte

causam uso do solo deficiente, gerando a ocupação desordenada com demandas variadas e complexas viagens, grande ineficiência e irracionalidade na produção do transporte.

Além do mais, impactos negativos provenientes das barreiras encontradas na produção do transporte, como, por exemplo, a baixa velocidade média e a indisponibilidade de ônibus devida à qualidade da manutenção e outras causas, levam à execução de serviços à margem das exigências do poder público. Por sua vez, o poder público não aplica, de forma eficaz, os instrumentos regulatórios que possui, pois padece de problemas para planejar e fiscalizar, contribuindo para que os serviços dos ônibus sejam cada vez mais precários.

O cenário conturbado favorece descumprimentos de uma programação, pois os serviços passam a ser realizados de acordo com determinações informais emanadas pelas empresas operadoras, que buscam maior lucro e, para isto, retiram parcela dos recursos que deveriam estar disponíveis para a operação dos ônibus. Devido a estas condições, os serviços não são eficientes porque se desassocia dos requisitos programados para a mobilidade urbana das pessoas.

A precariedade dos serviços é sentida pelos usuários que pagam tarifa considerada cara, pois são submetidos a serviços irregulares, enfrentando grandes esperas, lotações excessivas, tempos de viagens para além do que possam ser suportados e falta de confiabilidade, segurança e conforto. Quem mais sofre com isso são as camadas inferiores da sociedade, subordinadas aos meios de locomoção precários e pelos quais devem pagar uma parcela cada vez maior dos seus ganhos (CARDOSO, 2008). Para a Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP, enquanto uma parcela reduzida da população desfruta de melhores condições de transporte, utilizando maior espaço, a maioria continua limitada em seus direitos de deslocamento e acessibilidade (ANTP, 1997).

3.2. Fatores da qualidade no transporte público

O transporte público coletivo é avaliado, sob o ponto de vista do fornecedor, por critérios que determinam a eficiência ou rendimento dado pela capacidade de realizar os serviços utilizando os recursos disponíveis.

A expectativa é que os serviços sejam executados de acordo com uma programação e que esta esteja adequada para escalar suficientes recursos para suprir as necessidades da produção. A execução dos serviços, por sua vez, depende do atendimento a requisitos de espaço, tempo e capacidade. Por espaço compreende-se as distâncias que serão percorridas, o tipo da via, a geografia (relevo), a sinalização, as distâncias entre pontos de atendimento, etc. Por tempo entendem-se os tempos que são necessários para se alcançar lugares, como por exemplo, PED intermediários do itinerário e local do destino da viagem. A sua medida é aferida em função do menor tempo de execução, dado pelo bom desempenho de sua fluidez nos trechos da rota e suas variações durante toda a operação. A capacidade refere-se à frequência em que determinada quantidade de lugares será oferecida aos usuários, considerando os embarques e desembarques de passageiros nos PED iniciais, intermediários e finais do trajeto.

Sob o ponto de vista do consumidor, os serviços do transporte coletivo são avaliados pelos critérios da eficácia que é dada pelo nível de qualidade alcançado durante a realização dos serviços.

De maneira geral, a viagem de uma pessoa no transporte público é composta por segmentos que compreendem as seguintes etapas: percurso feito por caminhada entre uma origem e o local de embarque no sistema de transporte; tempo de espera neste local; viagem embarcada e, por fim, a distância do percurso feito por caminhada do local de desembarque até o destino final. Nas viagens encadeadas, o usuário faz sequências de deslocamento, com transferências intermediárias, para completar sua viagem.

Ao avaliar uma viagem, o indivíduo analisa estes segmentos, pois podem expô-lo a barreiras que são difíceis de serem superadas.

A percepção de fatores conjuntos ou individuais varia em função da condição socioeconômica, idade e sexo das pessoas. Também é influenciada pelo desempenho dos serviços de transporte e suas facilidades, que determinam o grau de satisfação obtido nas experiências recentes. Há, também, questões relacionadas à expectativa que o usuário tem sobre um sistema de transporte eficiente. Sobre as expectativas dos usuários, Kawamoto (1994) citando Ferraz (1998, p.118) afirma que:

[...] a satisfação de ter conseguido um nível maior de conforto e rapidez nas suas viagens durará pouco, pois o nível de aspiração está sempre além do nível alcançado. Assim, parece bastante lógico estabelecer a hipótese de que a natureza hedonista do homem, associada à aspiração, torna ilimitado o desejo de viajar de modo mais rápido e mais confortável, [...].

Os componentes que afetam a avaliação dos passageiros sobre a qualidade do transporte são:

- **Acessibilidade:** a acessibilidade ao sistema de transporte público está relacionada às distâncias que o usuário caminha até alcançar um local onde possa acessar os serviços de um sistema de transporte coletivo. As condições dos locais por onde ocorre o percurso de caminhada, como o relevo, a urbanização do entorno, qualidade do calçamento, sinalização e iluminação influenciam na avaliação do usuário. De acordo com Santos (2008), a sensibilidade dos usuários em relação à acessibilidade é mais crítica nos bairros que no centro da cidade, onde é mais agradável caminhar. Pode-se dizer que o sistema de transporte possui boa acessibilidade quando pequenas forem as distâncias percorridas a pé e quando forem disponibilizadas aos pedestres as condições que a facilitem. Reflete na acessibilidade do transporte coletivo a quantidade de pontos de acesso que o sistema possui, compostos por PED no itinerário dos ônibus (AGUIAR, 1985);
- **Frequência:** denominada como *headway* na engenharia de transporte, a frequência de atendimento é que determina o intervalo de tempo entre passagens consecutivas dos serviços de transporte nos pontos de atendimento. Para Kawamoto (1984), a frequência em que ocorrem os

atendimentos é um dos componentes mais importantes da qualidade do transporte, uma vez que reflete o volume de serviço oferecido por unidade de tempo e provoca impactos em vários aspectos, inclusive, no tempo médio de espera dos usuários. Os autores Ferraz e Torres (2004) complementam que a frequência tem relativa importância para os usuários que conhecem previamente os horários e seus intervalos, pois lhes confere maior ou menor flexibilidade na utilização do sistema. Segundo Faria (1985), tempos de espera, quando excessivos, desagradam, pois o tempo adicional é visto como perdido e que compromete planos, retirando tempo para executar atividades;

- Tempo de viagem: o tempo de viagem depende da velocidade comercial dos ônibus e das distâncias percorridas. Faria (1985) escreve que a maioria dos usuários do sistema de transporte público considera o tempo de viagem como o componente de qualidade importante, principalmente em viagens pendulares e que percorrem maiores distâncias. Para os autores Ferraz e Torres (2004), o tempo de viagem é observado pelos passageiros por meio da comparação entre os tempos de viagem dos ônibus e dos automóveis. De acordo com Kawamoto (1984), a duração da viagem não tem peso importante enquanto não for comparada com outras modalidades alternativas de transporte. Desta forma, o tempo da viagem depende do grau de priorização do transporte público em relação ao tráfego geral ou do compartilhamento dos espaços na via com outros veículos. Outros fatores também interferem no tempo da viagem, como quando o relevo a ser vencido apresenta baixo grau de variação e há condições para circular em rotas mais retas, situação em que o resultado da velocidade comercial será melhor. Itinerários compostos por rotas diretas ou com pouca sinuosidade permitem maior desempenho dos ônibus e viagens mais rápidas, pois os percursos são menores. O estado das vias e a sinalização viária também podem ser fatores de restrição ou favorecimento da circulação dos ônibus. Poucos cruzamentos e sinalização semafórica habilitada para dar preferência aos coletivos permitem melhor desempenho relacionado à velocidade média e resultam em tempos menores de viagem. Outra questão é o limite estabelecido pela legislação para desenvolver velocidade. Geralmente, esta limitação é aplicada para proporcionar maior segurança aos pedestres e reduzir a possibilidade, ou a

gravidade, de acidentes, diminuindo o número de mortes. O tempo de percurso no transporte público coletivo também é influenciado pelo tipo de ocupação do solo do entorno do eixo viário em que ele se efetiva e das atividades oferecidas por estas ocupações. Regiões com maior intensidade de atividades resultam na concentração de pessoas, tornando as operações dos ônibus mais demoradas. O leiaute dos veículos também contém fatores que podem alterar o tempo de viagem. Ônibus com maior quantidade de portas, pouca altura do piso em relação à calçada e disposição interna que permita boa circulação e acomodação dos passageiros permanece menor tempo parado nos PED para embarcar e desembarcar passageiros. Neste assunto, quando há a opção de pagamento da tarifa do serviço fora do ônibus, como nas estações dispostas ao longo do itinerário, o tempo de embarque dos passageiros é menor, diminuindo o tempo parado dos ônibus nos PED e reduzindo o tempo total da viagem. Em São Paulo, nas linhas com alta demanda, utiliza-se, nos ônibus, catraca dupla, que reduz o tempo total do embarque de passageiros;

- Lotação: a lotação está relacionada com o número de passageiros sentados e em pé que ocupam os espaços no ônibus, ao mesmo tempo. A mesma relação é feita para PED e estações de transferência onde existe concentração de pessoas. Quanto maior for o número de pessoas no local, maior será o desconforto sentido por usuários que têm que compartilhar espaços muito próximos entre si. Segundo Ferraz e Torres (2004), a percepção em relação a este componente da qualidade pode variar, dependendo do período em que as pessoas utilizam o sistema. Os passageiros habituais dos períodos de pico, em geral adultos e jovens que se dirigem à escola ou trabalho, são menos sensíveis à lotação que os usuários típicos de outros períodos, geralmente mulheres, crianças e idosos. Na Tabela 3 a seguir, são mostrados os valores de referência para a quantidade de passageiros em pé por metro quadrado, conforme a definição de Ferraz (1990):

Tabela 3 – Padrão da Qualidade – Lotação dos Ônibus

LOTAÇÃO NOS ÔNIBUS E PLATAFORMAS						
NÍVEL DE SERVIÇO	A	B	C	D	E	F
DENSIDADE (Pass./m ²)	Somente passageiros sentados	0 a 1,5 Em pé	1,5 a 3,0 Em pé	3,0 a 4,5 Em pé	4,5 a 6,0 Em pé	Maior que 6,0 Em pé

Fonte: Ferraz (1990).

Valores de referência que estabelecem os limites máximos na lotação dos ônibus, dada pela quantidade de passageiros em pé por metro quadrado, são especificados pelo Órgão Gestor, pois programam o nível de conforto ao qual submeterão os usuários. A lotação nos ônibus é passível de fiscalização e imputação de multas às empresas operadoras, nos casos em que os valores de referência sejam excedidos.

Na Figura 1 são apresentadas imagens demonstrando a lotação dos ônibus e em plataformas, de acordo com o nível de lotação.

Figura 1 – Ilustrações que representam Níveis de Serviços na ocupação de espaços

Fonte: TCQSM, (2003).

No entanto, ainda hoje é uma fiscalização difícil de ser realizada, devido à falta de informações que apresentem esta medida. Em São Paulo, o limite estabelecido pelo Órgão Gestor é de, até, 6 passageiros em pé por metro quadrado;

- **Confiabilidade:** a confiabilidade é relacionada com o grau de certeza que os usuários têm de que o ônibus passará e chegará ao destino desejado, no horário previsto, considerando pouco atraso. A confiabilidade, portanto, vai além da pontualidade e engloba o estado de manutenção do ônibus do qual depende da quantidade de quebras e indisponibilidades por causa de falhas. A pontualidade do atendimento é mais perceptível em linhas que operam com

baixa frequência de ônibus e mantêm intervalos mais longos. Diversos fatores podem alterar o desempenho dos ônibus e comprometer os serviços de uma linha, como: defeitos e quebras mecânicas; inabilidade dos motoristas; problemas com a segurança; congestionamentos; intempéries climáticas e outros problemas que levam à restrição na circulação. A confiabilidade é medida, de acordo com Ferraz e Torres (2004), pela porcentagem de viagens programadas que não foram realizadas, incluindo as realizadas parcialmente e as concluídas com atrasos maiores do que 5 minutos ou adiantamentos superiores a 3 minutos;

- **Segurança:** este componente avalia a qualidade do serviço em função dos aspectos de segurança aos quais os passageiros estão expostos durante a viagem. Abrange aspectos relacionados aos acidentes e incidentes envolvendo passageiros ou o veículo. Também considera o estado de conservação dos ônibus, se possuem iluminação funcionando, condições aparentes (no alcance visual dos usuários) da funilaria e pintura, estado dos pneus, etc. A perícia do condutor ao dirigir também é observada pelos passageiros, e pode aumentar (ou não) a sensação de segurança;
- **Características dos ônibus:** as características físicas dos veículos são avaliadas considerando-se o seu ambiente interno, caracterizado pela temperatura, ventilação, nível de ruído, umidade do ar, etc.; e o seu arranjo físico caracterizado pelo número e largura das portas, espaço do corredor, posição dos bloqueios e altura dos degraus. Na avaliação do estado de conservação dos veículos, o estado geral de limpeza também é, frequentemente, notado pelos passageiros. Assim, a disponibilidade de ônibus novos é percebida e tem impacto positivo nessa avaliação;
- **Facilidade de utilização:** este componente envolve as características dos pontos de acesso dos usuários aos serviços do transporte. Nos PED e seu entorno, são consideradas como facilidades, pelos usuários, características como: pouca distância entre o local de onde ele sai até o PED onde haverá o embarque; bom calçamento e iluminação pública; sinalização do espaço exclusivo para o ônibus e de travessias dos pedestres; existência de estrutura que provê abrigo contra intempéries climáticas como chuva e sol; iluminação interna eficiente; disponibilidade de assentos; lixeiras; equipamentos e

sinalização de apoio que facilitam o acesso de pessoas com mobilidade reduzida; e disponibilidade das informações que divulgam a relação de linhas, horários e intervalos, com mapas dos itinerários e orientações gerais. Nos dias de hoje, ganham a aprovação dos usuários as informações oferecidas pelos sistemas digitais, disponíveis por meio de mensagens em equipamentos audiovisuais ou pela internet, pois permitem acesso à informação atualizada sobre a condição em que os serviços estão sendo prestados. Informações atualizadas dão condições para que o usuário possa planejar antecipadamente a viagem, mesmo antes de ir ao PED. Durante a viagem, informações atualizadas sobre ocorrências que alteram os tempos de percurso permitem que os passageiros possam planejar o tempo para cumprir compromissos. Nos terminais, acrescenta-se a assistência prestada por funcionários identificados e treinados, que melhora a percepção e a avaliação das facilidades oferecidas no local;

- Conectividade: uma rota do transporte público é dada pela composição de vias e acessos que conectam um local de origem a um local de destino. Sob o ponto de vista dos passageiros, tem baixa avaliação quando é relacionada com os trajetos sinuosos, que dão voltas desnecessárias, tornando a viagem mais demorada e desgastante. Ligações diretas, sem a necessidade de transbordo entre serviços, seriam, também, as mais adequadas. Para Kawamoto (1984), a necessidade de transferência de passageiros de um veículo para outro, para complementar a viagem, é, por si mesma, uma interrupção e um prolongamento da viagem. Em situações onde é necessário o complemento de tarifa, produz-se gasto adicional que atinge usuários das classes sociais com mais baixa renda, configurando-se, assim, como um fator de exclusão. No entanto, uma viagem direta nem sempre é possível. Para atingir determinados destinos, é necessário realizar a troca de veículo (entre linhas diferentes) ou até de modal (do ônibus para o Metrô ou trem, ou vice-versa). Ao longo das últimas décadas, o padrão das viagens tem mudado porque elas são, cada vez mais, encadeadas e baseadas nas decisões interdependentes dos usuários e os resultados dos levantamentos de dados demonstram maior grau de variabilidade (JONES et al.1990). Assim, quanto menor for o esforço para realizar a transferência sem gastos financeiros

adicionais, mantendo ou melhorando as características de conforto do transporte, sem comprometer o tempo total da viagem, melhor será avaliada pelos usuários a necessidade da integração. Os autores Ferraz e Torres (2004) indicam que a conectividade pode ser determinada, dividindo-se a extensão (distância) entre o ponto em que o usuário está até o ponto do itinerário em que quer chegar, pela distância em linha reta entre estes dois pontos. Segundo os autores, resultados superiores a 1,7 são classificados como ruins e podem causar avaliações negativas por parte dos usuários.

- Comportamento dos operadores: a forma como os motoristas mantêm uma direção segura, ou seja, como conduzem os veículos respeitando a sinalização viária e prestam atenção nos outros veículos, é continuamente avaliada pelos passageiros, pois indicam sua perícia em dirigir. A apresentação pessoal, o atendimento às solicitações de parada, a cobrança correta da tarifa, poucos problemas com troco e o respeito demonstrado pela educação de motoristas e de cobradores no trato com o público são observados por passageiros e podem significar motivos que trazem satisfação (ou não) aos passageiros;
- Estado das vias: este componente refere-se às características das vias: - se pavimentadas com qualidade e ausência de imperfeições ou desgastes; se sinalizadas; se fiscalizadas por agentes públicos que orientam o tráfego de veículos, buscando fluidez, etc.

3.3. Métodos de pesquisa no transporte coletivo

Para organizar o transporte público coletivo e depois, gerenciá-lo, faz-se necessário o acesso a informações diversas sobre o fornecimento e o uso dos serviços. Entre estas informações, as que descrevem as características das viagens das pessoas e que, conseqüentemente, apontam suas necessidades para viajar, são críticas para planejadores do transporte, pois permitem explicar como ocorrem os deslocamentos na cidade e identificam áreas de atração em suas regiões (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 2011). Ocorre que, obter essas informações envolve processos complexos, com significativo uso de recursos humanos, financeiros e de

tempo (WILLUMSEN, 1981). Devido ao peso destas questões, raramente é possível manter informações atualizadas sobre características que definem as viagens recentes das pessoas (RAKHA et al. 2005).

Segundo descreve Ferreira (1999), as formas aplicadas para conhecer as características dos deslocamentos das pessoas e diversas outras informações sobre o transporte coletivo são, tradicionalmente, realizadas por meio de técnicas de pesquisa de campo. Estas pesquisas utilizam métodos diretos ou indiretos para coletar dados.

3.3.1. Métodos diretos de pesquisa

Pesquisas realizadas pelo método direto requerem algum tipo de envolvimento entre entrevistadores e entrevistados. Podem acontecer por meio de entrevistas individuais, em grupo ou por distribuição de formulários para preenchimento. Pesquisas pelo método direto, geralmente, envolvem grande esforço para planejar e executar os levantamentos, com elevado dispêndio de recursos.

Acrescenta-se a isto, a dificuldade aumentada por estudos que requerem maior grau de precisão nas informações, pois exigem elevadas quantidades de dados provenientes de grandes amostragens. Mesmo em amostragens menores, entre 1 e 5%, despende-se grande esforço e elevado uso de recursos (NGUYEN, 1984).

Segundo Stopher et al. (1985), os métodos diretos têm, como dificuldade, a resistência de muitos usuários em responder sobre questões que abordam seus hábitos. Por outro lado, os autores Richardson et al. (1995) acrescentam que, nas pesquisas obtidas por contagens, em que se dispensam as entrevistas, não há a obtenção das características socioeconômicas dos usuários, que são importantes para prever os impactos causados em estratos da população quando ocorrem mudanças no sistema de transporte.

3.3.1.1. Entrevistas de Preferências Declaradas

O método de pesquisa direta, conhecido como “Preferência Declarada”, busca estimar cenários no futuro baseados em informações sobre situações atuais, declaradas sob o ponto de vista das pessoas entrevistadas, que podem ser, ou não, consumidoras de determinado produto ou serviço que se quer avaliar. Consiste em levantar opiniões dos entrevistados em função de propostas de melhoria na qualidade do produto ou do serviço, registrar manifestações de interesse nessas melhorias e a possível intenção de pagar determinada quantia de dinheiro por isso, nas novas condições.

3.3.1.2. Entrevistas censitárias

As pesquisas censitárias são qualitativas (exploratórias), e buscam recolher dados detalhados sobre determinado assunto; incluem a opinião do usuário. A base de dados formada por estas entrevistas é composta por todos os elementos de uma população (não são amostrais). Um exemplo desta pesquisa é o Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

As pesquisas censitárias utilizam metodologia exploratória em entrevistas e podem analisar variáveis mensuráveis, como a condição socioeconômica das pessoas, e as variáveis que não podem ser mensuradas diretamente, pois têm características mais subjetivas, identificadas apenas pelas percepções, sensações, sentimentos, comportamentos passados, forma de entendimento, significados e motivações em relação a uma questão específica (RICHARDSON et al. 1995).

3.3.1.3. Entrevistas domiciliares de autopreenchimento

As pesquisas domiciliares de autopreenchimento são bastante utilizadas no setor de transporte e, geralmente, têm custo menor quando comparadas às pesquisas individuais com acompanhamento de entrevistadores. Este método de pesquisa direta pode ser definido como aquele em que o entrevistado, em seu

domicílio, preenche um questionário sem a assistência de um entrevistador. Para isso, o entrevistado precisa interpretar as perguntas e respondê-las conforme seu entendimento. Pesquisas deste tipo devem conter perguntas objetivas, claras, que não permitam interpretações diferentes daquilo que se deseja pesquisar. Entretanto, as pesquisas de autopreenchimento têm desvantagens devido ao baixo índice de retorno na devolução dos questionários, o que pode comprometer a avaliação dos dados e o tempo programado da pesquisa (RICHARDSON et al. 1995).

3.3.1.4. Entrevista pessoal domiciliar

Nas pesquisas domiciliares o entrevistador está presente, conduz as perguntas com o entrevistado e registra suas respostas. A presença do entrevistador no momento da entrevista apresenta vantagens, pois é considerada como recurso para a resolução de dúvidas, formulação de questões complementares que esclareçam questões ou de temas mais complexos para que seja possível aprofundar registros sobre as atitudes e observações manifestadas pelo entrevistado. Entretanto, somente a presença do entrevistador pode interferir na formulação de respostas que não venham a representar a opinião real do entrevistado. São técnicas de pesquisa mais dispendiosas e exigem maior quantidade de recursos. Neste método de pesquisa, há elevado índice de retorno de questionários com adequada qualidade de respostas, o que colabora para alcançar um cronograma mais justo, quando comparado aos métodos de pesquisas de autopreenchimento (RICHARDSON et al. 1995).

3.3.1.5. Entrevistas de abordagem

As pesquisas que utilizam entrevistas de abordagem podem ser aplicadas em qualquer lugar onde o pesquisador esteja e, não necessariamente, no domicílio do entrevistado. Se houver condição que permita a abordagem e haja concordância do candidato em responder às perguntas, a entrevista pode ser realizada. É um método cuja aplicação é flexível, pois o entrevistador pode, apenas, entregar um

questionário e aguardar o preenchimento, pedir a devolução pelo correio, realizar as perguntas e, ele mesmo, preenchê-lo, baseado nas respostas ou, ainda, utilizar modos variados, dependendo da disponibilidade do entrevistado. Os autores Shekin et al. (1981) explicam que, do objetivo da pesquisa, dependerá o grau de interação entre o entrevistado e o entrevistador. No setor de transporte, são pesquisas bastante utilizadas, pois aproveitam a concentração natural de usuários em determinados locais, como em terminais, PED ou mesmo dentro do ônibus. Neste caso, dependendo da informação que se deseja obter, a abordagem pode ser realizada logo depois que o passageiro utilizou o serviço, enquanto o utiliza ou, mesmo antes de utilizá-lo, explorando sua opinião mais recente.

3.3.1.6. Pesquisa de abordagem do tipo cartão

Também chamada de pesquisa do tipo “santinho”, é uma técnica muito utilizada no setor de transporte para obter dados de embarques e desembarques dos passageiros nos ônibus e produzir informações sobre a lotação dos serviços de transporte.

Este tipo de pesquisa não requer uma entrevista com a pessoa pesquisada. Baseia-se na distribuição de cartões que serão preenchidos com identificadores de data, hora e local onde cada passageiro embarcou e desembarcou do ônibus. A cada PED, um lote de cartões é identificado por um pesquisador com a data, local e hora em que o ônibus parou no PED. Para cada passageiro que embarca no ônibus, é entregue um desses cartões, que deve ser devolvido no momento em que o mesmo for desembarcar. Ao ser recolhido pelo pesquisador, cada cartão é novamente preenchido, complementando os dados de hora e local do desembarque.

Para realizar esta pesquisa, obrigatoriamente, há necessidade de pesquisadores embarcados no ônibus durante todo o trajeto da viagem. Como deve haver um pesquisador em cada porta, a sua quantidade no ônibus dependerá do número de portas. O número total de pesquisadores para realizar o levantamento dos dados dependerá, também, do período de tempo em que a pesquisa será realizada. Em São Paulo, um ônibus fica circulando, em média, por dezesseis horas

e as pesquisas do tipo "santinho", são aplicadas, apenas, em alguns horários onde há maior concentração de passageiros.

No entanto, a aplicação dessa pesquisa é bastante trabalhosa e exige um bom planejamento que a anteceda. A etapa de identificação dos locais onde estão instalados os PED é chamada de "posteameto", que identifica e registra todos os PED ao longo do itinerário. Também é necessário um levantamento minucioso sobre quantos ônibus trabalharão na linha e quais são suas características, como a capacidade e o número de portas. Estes dados são importantes para a distribuição das equipes de pesquisa e para preparar os cartões que serão distribuídos.

Depois de realizados todos os levantamentos, após a pesquisa, os cartões são encaminhados para um trabalho de organização e contabilização dos eventos. A análise posterior dessas informações permite obter os valores sobre a lotação dos ônibus, em que momento da viagem estava mais lotado e em quais PED houve as maiores quantidades de embarques ou desembarques. As análises produzem indicadores importantes para serem aplicados na programação e planejamento dos serviços, pois determinam o trecho crítico de maior carregamento da linha, indicadores de renovação de passageiros (chamado de FR – Fator de Renovação) e o Nível de Lotação (NL) de passageiros nos veículos, dado pelo número de passageiros em pé por metro quadrado, durante cada seção do percurso.

As informações obtidas são referências para atividades de ajustes na linha, para redimensionar a capacidade da oferta ou para promover alterações no seu funcionamento; porém, apesar da sua importância, operacionalizar este tipo de pesquisa é uma tarefa complexa e exige dispêndio elevado de recursos. Por esta razão, estas pesquisas são realizadas com pouca frequência e, normalmente, abrangem apenas levantamentos parciais.

Segundo Navick e Furth (1993), métodos desse tipo apresentam, como deficiência, a impossibilidade da identificação dos usuários potenciais do sistema, pois esses não estão no universo de pessoas pesquisadas.

3.3.2. Métodos indiretos de pesquisa

Nas pesquisas que utilizam métodos indiretos para levantar dados, não há necessidade de abordar ou entrevistar pessoas, nem tampouco, manipular objetos ou produtos que se deseja verificar, pois a ideia é não interferir no que está sendo observado.

3.3.2.1. Pesquisas de observação

Este tipo de pesquisa apenas observa os eventos que se quer estudar, percebendo e registrando suas modificações. Este processo ocorre sem qualquer tipo de abordagem ou interferência do observador no que está sendo observado. São coletados dados sobre as características do que se observa e do ambiente em que ocorrem. Um exemplo deste tipo de pesquisa é quando os pesquisadores, simplesmente, observam como os usuários se comportam durante o uso do serviço, como tomam as decisões ou como o utilizam. O pesquisador efetua um registro sistemático de dados, de comportamentos, de fatos e de ações, a fim de obter subsídios sobre determinado fenômeno que está sendo observado.

Essa técnica é de essencial relevância, uma vez que busca constatar diferenças entre costumes, hábitos e mudança no comportamento dos consumidores. A observação não consiste apenas em ver e ouvir seu objeto de estudo, mas também em caracterizar fatos ou fenômenos do ambiente (NELEMS, 2001).

De acordo com Richardson et al. (1995) as técnicas de observação são pouco utilizadas nas pesquisas em ciências sociais, mas têm uso comum no setor de transporte e levantamentos de tráfego. Pesquisas de contagem de tráfego e classificação de veículos, lotação nos ônibus, tempos de percurso, levantamento de atrasos nos horários programados e obtenção de características dos fluxos de passageiros estão entre elas.

Normalmente, as pesquisas deste grupo precisam ser repetidas algumas vezes para garantir resultados com menor variação possível, considerando que

estes podem se modificar, de um dia para outro, devido a diversos fatores. Com este mesmo objetivo, medidas de variabilidade devem ser consideradas ao analisar resultados das pesquisas de observação.

No setor de transporte, alguns exemplos de pesquisas de observação são:

- Frequência dos ônibus: envolvem o diagnóstico da linha por meio do levantamento de dados em PED nos terminais durante determinado período de tempo, registrando-se os horários das partidas e das chegadas dos veículos. A contagem dessas partidas (ou chegadas), acumuladas em intervalos de tempo, resulta em informações sobre a frequência dos ônibus;
- Frequência de passageiros: quando o ônibus está atendendo a um determinado PED (no itinerário, estação ou terminal) são registrados os embarques e desembarques de passageiros nos ônibus e de usuários que continuam no local, sem embarcar. Os dados organizados por intervalos de tempo produzem informações sobre a movimentação de passageiros no local;
- Pontualidade das partidas: registram os horários de saída e chegada de veículos em determinados pontos de controle. Quando os dados são organizados e comparados com uma programação, permitem calcular a qualidade do serviço, medindo os tempos de percurso dos ônibus e pontualidade nos atendimentos;
- Lotação: estimativa do número de passageiros no interior dos ônibus que passam por determinado ponto de controle. Um pesquisador, posicionado em um local específico do itinerário, observa a passagem dos ônibus e identifica, por comparação, o seu estado de lotação. Obedece a escalas predefinidas para estimar situações em que o ônibus está com assentos disponíveis e nenhum passageiro em pé; cheio, com todos os assentos ocupados e alguns passageiros em pé; lotado, com todos os assentos ocupados e muitos passageiros em pé; e superlotado, quando o ônibus aparenta não ter mais condição de embarcar outros passageiros.

Com a crescente aplicação de tecnologias dos Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), as pesquisas de observação ganharam forte aliado, pois o uso de dados coletados automaticamente por estes sistemas permite diversas análises e

amplia a abrangência de tempo e de locais pesquisados, aumentando a eficiência na aquisição destas informações e reduzindo o custo dos levantamentos.

É comum o uso de tecnologias que coletam remotamente dados que podem ser observados à distância, em tempo real, ou analisados posteriormente. Exemplos de tecnologias são as câmeras para gravar imagens e dispositivos GPS, que produzem dados de rastreamento de veículos.

Uma vantagem de possuir coleta sistemática de dados é poder calcular com maior frequência os índices de variabilidade que aumentam a qualidade da informação final.

3.4. Sistemas Inteligentes de Transporte

Os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS – *Intelligent Transport System*, na língua inglesa) têm a proposta de resolver alguns dos desafios que a sociedade moderna enfrenta como congestionamentos, poluição, consumo exaustivo de fontes de energia, falta de produtividade e custos elevados do transporte. A aplicação dos ITS busca por melhor desempenho do transporte com eficiência energética, baixo impacto ambiental, melhora na organização do uso dos recursos, aumento da segurança física e patrimonial e redução do custo das operações das organizações. Para os viajantes (motoristas e passageiros), busca melhorar a experiência, por meio do fornecimento de facilidades e redução das despesas, encorajando o uso do transporte.

A arquitetura dos ITS vem sendo desenvolvida para considerar, de forma integrada, veículos, sinalização, cargas e pessoas com estruturas de gestão, fornecendo uma conexão inteligente entre eles. Os sistemas são compostos por tecnologias emergentes que decorrem da evolução dos recursos de telecomunicações, eletrônica, sensores, atuadores e sistemas de informações que são compatíveis com as necessidades dos sistemas de transporte, a fim de planejar, projetar, operar, manter e geri-los.

Funciona por meio de equipamentos com dispositivos sensores programados para perceber determinado evento e registrar os dados requeridos sobre ele. Estes sistemas utilizam controladores lógicos ou sistemas de processamento de dados para desempenhar funções de controle, onde interpretam sinais, coletam e transmitem dados para Centros de Controle e enviam comandos para outros equipamentos com dispositivos atuadores, que respondem com ações.

O desenvolvimento de equipamentos de eletrônica aplicados para controle do tráfego teve início na década de 1970, quando empresas europeias utilizaram sistemas complexos para transmitir um código, no início de uma mensagem, onde apenas automóveis afetados por ela podiam receber. Na Austrália, ainda em 1970, o Departamento de Rodovias instalou um controle centralizado para atuar em trinta cruzamentos com resposta rápida de controle do tráfego de veículos. Em 1973, o Ministério da Indústria e Comércio Internacional (MITI) do Japão financiou o sistema CACS - *Comprehensive Automobile Control System*, para gerenciamento do tráfego de automóveis (DINGUS 1996; TOKUYAMA, 1996). Em 1974, na Alemanha, um sistema denominado ARI (*Auto-fahrer Rundfunk Information*), utilizando frequência modulada (FM), foi introduzido no controle do tráfego rodoviário em *autobahns* para reduzir congestionamento durante as férias de verão. Todas estas iniciativas tinham, como foco, o controle do trânsito de automóveis e foram concebidas com sistemas de processamento central em grandes computadores e utilização dos recursos disponíveis de comunicação. Devido às limitações da tecnologia, estes sistemas nunca obtiveram aplicações que, na prática, os consolidassem.

Entre os anos de 1981 e 1994, as evoluções tecnológicas dos componentes de memória com maior capacidade de armazenamento e acesso mais rápido baratearam o processamento de dados, o que estimulou a continuação do desenvolvimento dos ITS.

Em 1984, no Japão, o projeto RACS (*Road/Automobile Communication System*) começou a ser desenvolvido e suas definições serviram de base para os atuais sistemas de navegação, ainda hoje em uso naquele país.

Em 1986, para atender às exigências do mercado para infraestrutura rodoviária e segurança dos automóveis, um programa denominado EUREKA foi

criado pela Comunidade Europeia a fim de promover o desenvolvimento das tecnologias da informação, telecomunicações, robótica, automação e ITS, com o objetivo de alavancar a força competitiva da Europa frente aos mercados. Foi iniciado o desenvolvimento do sistema denominado PROMETHEUS, como parte desse programa, que envolveu 18 grandes empresas europeias, autoridades estaduais e mais de 40 instituições de pesquisa.

Na América do Norte, os Estados Unidos consolidaram, em 1988, vários programas que desenvolviam as tecnologias ITS, o que denominaram IVHS (*Intelligent Vehicle-Highway Systems*).

Em 1991, foi criada a ERTICO - European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization, com apoio da Comissão Europeia e parceiros públicos e privados, com o objetivo de assegurar a mobilidade eficiente e confortável, segura, com menor impacto ao meio ambiente e consumo de energia, por meio da implantação generalizada de ITS na Europa e outros continentes.

Em 1992, um programa estratégico de desenvolvimento das tecnologias, chamado IVHS *Strategic Plan*, foi iniciado. Este programa procurou obter consenso sobre o uso das tecnologias e integrou setores públicos, privados e academia científica, para acelerar a sua implantação por um horizonte de 20 anos.

Em 1994, foi criada a ITS Japão que atua, em conjunto com o governo, no desenvolvimento e ampliação do uso das tecnologias ITS. O Japão faz parte do GAITS (*Global Advanced Information and Telecommunications Society*) que desenvolve pesquisa e busca o desenvolvimento da arquitetura e padronização dos ITS, com cooperação internacional.

Em 1994, as aplicações práticas do uso de sistemas de transporte com tecnologia avançada foram percebidas como benefícios para além dos automóveis, e passaram a ser imaginadas em termos intermodais. Neste cenário, o programa IVHS foi rebatizado de ITS (*Intelligent Transportation System*), indicando que, além do tráfego de automóveis, também outros modos de transporte passariam a receber atenção das tecnologias.

Em 1995, as funções estratégicas do IVHS foram transferidas para a ITS América (*Intelligent Transportation Society of America*), organização sem fins lucrativos, para promover o uso das tecnologias modernas em sistemas de transporte de superfície, que avançou no esforço pela sua aceitação devido aos benefícios e estimulou a participação de parceiros públicos e privados para tornar os sistemas de transportes americanos mais seguros e eficientes (DINGUS et al. 1996).

O Centro VICS (*Vehicle Information and Communication System Centre*), financiado pelos Ministérios da Educação, Telecomunicação e a Agência Nacional da Polícia, implantou, em 1996, nas cidades de Tókyo e Osaka, um sistema de comunicação e informação do veículo (VICS) e um sistema avançado de informação do tráfego, chamado ATIS (*Advanced Traffic Information System*), ainda em operação no Japão. A central da VICS recebe, em tempo real, das autoridades rodoviárias, informações sobre as condições do trânsito nas rodovias e as divulga por meio de sinalização nos acessos das estradas e por transmissão de rádio FM.

Desde 1999, aspectos teóricos, experimentais e operacionais das tecnologias de engenharia e de informação elétrica e eletrônica aplicada a ITS são desenvolvidos pela ITSS (*Intelligent Transportation Systems Society*) e regem-se de acordo com a Constituição e Estatutos do Instituto de Engenheiros IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Este esforço, com abrangência mundial, reúne a comunidade de cientistas, engenheiros e demais interessados para formalizar uma base de consenso técnico sobre a tecnologia.

Embora o mercado de ITS ofereça, atualmente, muitos produtos e grande quantidade de documentação técnica, as tecnologias que a envolvem ainda estão em desenvolvimento e conceitos, normas e padrões ainda estão sendo discutidos. Willians (2008) aponta que questões envolvendo a interoperabilidade entre estes sistemas ainda são complexas e vêm sendo examinadas por comissões especializadas, como por exemplo, na Organização Internacional para Padronização - ISO, no esforço para especificar padrões globais. Por outro lado, normas regionais e específicas de países são pleiteadas por agências como a European Telecommunication Standards Institute - ETSI, o European Committee for Standardization - CEN e a Association of Radio Industries and Business - ARIB, no

Japão. As normas regionais acompanham regulamentações já adotadas por países como a Austrália (*Australian Communications and Média Authority – ACMA*) e Estados Unidos (*Federal Communication Comission – FCC*), entre outras. Na Europa, para desenvolver o mercado comum, a European Conference of Postal and Telecommunications Administrations – CEPT desenvolveu recomendações que adotam benefícios entre países da União Europeia (UE) e outros membros para a utilização de frequências de bandas de comunicação. Também, a International Telecommunication Union - ITU, sediada em Genebra, promove recomendações e incentivos para o desenvolvimento de padrões de comunicação com abrangência mundial.

Marte et al. (2012) explicam que as principais áreas de aplicação de ITS classificam as tecnologias em:

- *Advanced Traveler Information Systems (ATIS)* – inclui serviços de informação, navegação e orientação aos motoristas. Contempla os serviços desenvolvidos para subsidiar as decisões dos passageiros antes e durante seus deslocamentos. Atua em conjunto com sistemas de informações para apoiar viajantes sobre condições das vias, climáticas, acidentes e trânsito. Inclui sistemas de navegação para dar suporte aos motoristas e diminuir tempos de deslocamento;
- *Advanced Traffic Management Systems (ATMS)* – proporciona apoio ao planejamento de transportes, controle, fiscalização e gerenciamento da demanda. Inclui os serviços necessários para coordenar fluxos de tráfego nas rodovias e gestão para redução de congestionamentos. Reduz os congestionamentos das vias, o número de acidentes graves e de feridos e mortos no trânsito. É aplicada, principalmente, à sinalização das vias, gerenciamento do trânsito e definição de rotas;
- *Advanced Vehicle Control and Safety Systems (AVCS)* – baseia-se na prevenção de acidentes e operação automática de veículos. Comporta tecnologias que se integram aos veículos, tornando-os mais inteligentes para apoiar motoristas e reduzir acidentes devido às condições de dirigibilidade;
- *Commercial Vehicle Operation (CVO)* – voltada ao gerenciamento e controle de frotas de veículos, agrega sistemas automáticos destinados a melhorar o

desempenho do veículo. Compõe-se de sistemas e equipamentos que atuam no controle de frotas e cargas, os quais, além de garantir maior segurança, orientam a circulação para reduzir tempo perdido em congestionamentos e áreas de risco;

- *Advanced Public Transport Systems* (APTS) – aplica ITS ao gerenciamento do transporte público e busca melhorar a eficiência e o desempenho dos serviços. Os benefícios para os usuários incluem o fornecimento de informações atuais e precisas sobre os serviços, menor tempo de espera, aumento da segurança e facilidade para o pagamento da tarifa;
- *Emergency* (EM) – monitora e gerencia cargas perigosas e é destinado ao atendimento de acidentes e outras emergências, envolvendo cargas com produtos perigosos.
- *Electronic fare* – engloba serviços de cobrança eletrônica de tarifa em transportes (*Automatic Fare Collection* - AFC) e Coleta Eletrônica de Pedágio (*Electronic Toll Collect* - ETC) – são serviços voltados à execução de transações financeiras por via eletrônica que permitem a cobrança automática de pedágios, estacionamento e serviços do transporte público. Torna o serviço mais eficiente, reduzindo tempo e trânsito.
- *Security/Safety* – busca aumentar a segurança no cruzamento de vias e inclui serviços necessários à sinalização e qualidade da pavimentação.

Devido às possibilidades de melhorar o funcionamento das cidades, as tecnologias inteligentes de transporte estão sendo mais utilizadas nas aplicações urbanas e os benefícios gerados são sentidos pelos habitantes que consideram a adoção destas tecnologias nas cidades motivo para haver melhor qualidade de vida. Numa lista resumida destes benefícios, os ITS promovem:

- Eficiência na utilização da capacidade viária e aumento na segurança por meio da integração de sinalização de trânsito para convivência entre motoristas de veículos motorizados, condutores de veículos não motorizados, passageiros e pedestres;
- Sistemas de informação em tempo real ao viajante, como por exemplo, sobre a disponibilidade de vagas de estacionamento ou sobre o horário de chegada ou de partida de ônibus, barcos ou aviões;

-
- Sistemas de informações sobre condições atmosféricas adversas ou sobre as condições previstas para a viagem em consequência de ocorrências no trajeto, com a emissão de alertas sobre acidentes, obras ou eventos;
 - Priorização de serviços de emergência e redução do tempo de resposta a acidentes e incidentes;
 - Proteção ao pedestre em pontos de risco de acidentes ou incidentes;
 - Melhora na segurança do trânsito, exibindo os limites de velocidade obrigatória, monitorando a velocidade média do veículo e aplicação de penalidades diante das infrações de trânsito;
 - Controle ou restrições de circulação de caminhões em função da prioridade para automóveis, peso ou emissão de poluentes;
 - Controle, à distância, de documentação veicular, de condutores e de tarifação em trechos de circulação de veículos, comuns nos pedágios das rodovias;
 - Melhora nos serviços de transporte público, por meio de prioridade em faixas preferenciais e cruzamentos;
 - Pagamento de tarifas por meio das facilidades providas por cartões inteligentes no aluguel de bicicletas, veículos (*car-sharing*), no transporte público e táxis;
 - Localização automática de veículos de apoio, emergência e transporte público, reduzindo o tempo de atendimento;
 - Integração de serviços e compartilhamento de informações entre agências de controle e, delas, com requerentes privados;
 - Coleta e transmissão de dados sobre a qualidade do ar e condições ambientais;
 - Rastreamento de veículos e produção de dados sobre as condições do tráfego em estradas e avenidas, informando motoristas e auxiliando-os a optar por rotas alternativas, menos congestionadas.

Na cidade de São Paulo, o sistema de transporte público coletivo recolhe dados, em tempo real, por meio de dispositivos e equipamentos de ITS instalados nos ônibus e estações. Os dados são utilizados em um Centro de Controle e servem, prioritariamente, para o rastreamento da frota dos 15 mil ônibus que prestam serviços de transporte no município. Os veículos são equipados com AVL

(*Automatic Vehicle Location*) que coletam e transmitem dados, de forma *on-line*, por GPRS (General Packet Radio Services, ou Serviços Gerais de Pacote por Rádio). Um sistema de computador, denominado Sistema Integrado de Monitoramento – SIM, recebe e processa em torno de 17 milhões de eventos de posição dos ônibus por dia e com base nestes dados, gera alertas das ocorrências nos serviços. A Figura 2, a seguir, demonstra o rastro georeferenciado desses eventos durante um dia útil de operação dos ônibus na cidade.

Figura 2 - Nuvem de registros da localização de veículos coletados por GPS, durante um dia útil, na cidade de São Paulo.

Fonte: São Paulo Transporte - Sptrans.

No entanto, apesar de expressivo volume de dados coletados, as informações geradas servem apenas para atividades de coordenação da frota do transporte público, controlando ocorrências e informando se os ônibus estão circulando ou parados nas vias, em terminais ou garagens e, dentro deste limite, não agem sobre a operação para torná-la mais eficiente (FERREIRA, et al. 2014)

Arrecadação tarifária: desde 2004, por meio da empresa gestora do transporte público, Sptrans, a cidade mantém um sistema eletrônico para a arrecadação de tarifas. O sistema permite administrar 20 milhões de cartões inteligentes, chamados de Bilhete Único, utilizados por passageiros para pagar a tarifa do transporte público coletivo. Os dados recolhidos pelo sistema são gerenciados por um Sistema de Bilhetagem Eletrônica – SBE, que facilita o controle na arrecadação de tarifas e torna transparente a remuneração das empresas fornecedoras dos serviços de transporte.

Devido à implantação da tecnologia, a Prefeitura da Cidade pode utilizar políticas tarifárias que beneficiam milhares de pessoas que utilizam o transporte e reduziu o preço da tarifa para estratos da população, como estudantes e isentou de tarifa os idosos e pessoas com mobilidade reduzida. Melhorou também a mobilidade das pessoas por meio do transporte, sendo possível a passageiros fazer transferência entre os serviços das linhas para realizar deslocamentos, sem pagamento adicional de tarifa.

Medição da quantidade de passageiros: atualmente, em São Paulo, a Sptrans estuda adotar sistemas para contagem automática de passageiros nos ônibus, chamados APC – *Automatic Passengers Counting* –, que possuem várias tecnologias (câmeras, sensores infravermelho, sensores de presença, de medida do peso, etc.), nos contadores, oferecidos pelo mercado de ITS. Na Figura 3 é apresentado um desenho com exemplo dessa tecnologia.

Figura 3 – Contadores Automáticos de Passageiros.

Fonte: 21st Century Technology (<http://www.21stplc.com/>).

3.5. Modelos de planejamento em transportes

Essencialmente, o planejamento de transporte busca prever as necessidades para os próximos anos e definir, entre as alternativas possíveis, metas e objetivos para os investimentos em horizontes futuros.

Ortúzar e Willumsen (2011) o definem como sendo uma representação simplificada de uma parte do mundo real, que se concentra em certos elementos considerados importantes para a sua análise, de um ponto de vista particular.

Possui foco no longo prazo e considera o sistema de transporte de modo geral, com todos os modos incluídos (transporte coletivo, caminhadas, automóveis,

bicicletas, etc.), competindo entre si. Historicamente, planos do transporte incluem a organização do uso do solo, do trânsito e dos serviços do transporte público.

Segundo Borghetti (1984), o planejamento no setor de transportes é baseado no estabelecimento de processos cujo conjunto de ações busque alcançar objetivos definidos, em consonância com as políticas públicas de desenvolvimento urbano. Por meio de diretrizes, age sobre a estruturação, organização e entrega de resultados nos prazos requeridos.

O planejamento de transporte utiliza técnicas conceituais, geralmente, as provenientes dos conhecimentos de engenharia, para desenvolver planos. São aplicadas ferramentas de simulação, métodos estatísticos e modelos matemáticos para resolver problemas e alcançar soluções práticas que podem ser implantadas no sistema de transporte. No entanto, modelos derivados das ciências sociais e psicologia também recebem atenção dos planejadores e estão sendo cada vez mais utilizados, sendo combinados com técnicas típicas dos modelos comportamentais desagregados como os que resultam de pesquisas. O processo para planejar transportes é composto por diversas etapas, em que as informações obtidas dos modelos são inter-relacionadas para obter as características do sistema de transporte. A análise das características resulta numa modelagem final do sistema e na proposição de melhorias para a rede de transporte.

Novaes (1986) classifica em três categorias os principais modelos de planejamento de transportes:

- Modelos convencionais empíricos: são os modelos tradicionais utilizados em transportes. Com origem nas ciências exatas, estudam características dos cenários atuais para estimar cenários futuros, utilizando técnicas para modelar a demanda e a oferta do sistema de transportes. São conhecidos como Modelos Empíricos, Modelos Clássicos de Transportes, Sistemas de Modelagem de Transporte Urbano, Modelos Sequenciais e Modelo de 4 Etapas, sendo esta última a denominação mais utilizada;
- Modelos comportamentais: analisam as motivações das pessoas em relação à forma como tomam suas decisões de como realizar ou não uma viagem. Para tomar a decisão de como viajar, os usuários consideram os atributos do

modo de transporte disponível (conforto, segurança, preço, infraestrutura, velocidade, etc.) e se a viagem será simples ou encadeada, decidindo, então, como alcançar o destino desejado;

- Modelos atitudinais: as ciências sociais e a psicologia introduziram técnicas que visam identificar fatores subjetivos que levam ao processo de decisão do usuário. Estas técnicas não vinculam, necessariamente, os atributos do transporte, mas as características próprias de sua percepção (corporal, psíquica e social), influenciada pela vivência do meio que a pessoa frequenta e aspectos culturais diversos. É muitas vezes, uma questão de preferência, como por exemplo, pessoas que não gostam de dirigir automóveis porque têm consciência coletiva dos males que provocam no meio ambiente, mas têm necessidade de realizar deslocamentos longos, que não podem ser feitos por caminhada ou por veículos não motorizados.

Pitombo e Kawamoto (2005) afirmam que a estrutura urbana e os eventos que nela acontecem, exercem influência na sequência de viagens dos indivíduos ao longo do dia, e devem ser considerados nos planos de transporte. Entretanto, reconhecem que existem dificuldades para obter as informações e incorporar as variáveis que representam as modificações urbanas no uso do solo nos modelos de transporte. Ortúzar e Willumsen (2011) escrevem que a decisão de indivíduos em realizar a viagem depende de fatores que influenciam a sua decisão. São fatores relacionados a imposições ou preferências devido à finalidade de trabalhar e participar de atividades de educação, saúde e lazer. Neste contexto, leva em consideração a renda disponível, a estrutura domiciliar, o número de integrantes da família, disponibilidade de acessos a modos de transporte, facilidades oferecidas na atividade comercial, acesso a serviços e a densidade e ocupação do solo. No modelo de planejamento de transporte denominado "4 Etapas", a distribuição da demanda por transporte é condicionada pelo comportamento das pessoas para realizar atividades. Considera que os comportamentos são influenciados por requisitos de disponibilidade da infraestrutura de serviços, de transportes e urbana (uso e ocupação do solo), de acordo com o desempenho e facilidades que apresentam. Seguem os moldes estabelecidos pelo Federal-Aid and Highway Act, publicado nos Estados Unidos em 1956, que estabeleceu níveis de relacionamento entre as características das viagens urbanas e outras variáveis, inclusive,

socioeconômicas (MELLO, 2007). Na Figura 4, um fluxograma apresenta o modelo definido por aquele órgão, em 1972.

Figura 4 – Fluxograma dos processos de Planejamento do Transporte Urbano.

Fonte: (Urban Transportation Planning General Information, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1972, p. I-3). Adaptação e tradução livre de: http://orfe.princeton.edu/~alaink/Scanned%20Slides/Section%201/SLD1092_491.jpg

Segundo Mathew e Rao (2006) as informações normalmente exigidas para concepção do Modelo 4 Etapas, a partir do levantamento de dados, podem ser agrupadas nas quatro categorias relacionadas a seguir:

1. Dados socioeconômicos: informações sobre as características socioeconômicas da área de estudo. As informações mais importantes incluem as de renda, propriedade do veículo, tamanho da família, etc. É possível que possam existir diferenças na distribuição de variáveis como sexo e idade, que são corrigidas quando comparadas aos dados obtidos pelo último censo demográfico. Estas informações são essenciais na etapa da geração de viagem e na preparação das variáveis para uso nos modelos de divisão modal e calibração;
2. Desejos de Viagem: geralmente, são informações obtidas por intermédio de pesquisas e identificam as viagens realizadas, determinando a origem e destino. Na entrevista com residentes, registra-se o número de viagens feitas por cada membro da família e o motivo, bem como a direção da viagem, local onde começa e termina, modo utilizado, horário, tempo e custo. Estes dados serão utilizados, principalmente, para a calibração dos modelos, especialmente os utilizados na etapa de distribuição das viagens;
3. Inventário do uso do solo: inclui dados sobre a densidade das famílias e seus membros em zonas residenciais, estabelecimentos comerciais, escola e emprego. Este dado é especialmente útil para modelos de geração de viagens;
4. Dados de rede: nesta categoria, realiza-se o mapeamento dos recursos de transportes públicos e privados existentes e a infraestrutura viária e suas características. Estas informações são úteis para a calibração do modelo, especialmente para os modelos de distribuição modal.

Os autores Gupta e Shah (2012) descrevem as quatro etapas do modelo de transporte para analisar um cenário atual e estabelecer alternativas futuras. De acordo com os autores, as etapas são: (1) geração de viagens; (2) distribuição de viagens; (3) escolha modal e (4) alocação das viagens.

1. Geração de viagens: a decisão do indivíduo de viajar de um lugar para outro a fim de atender um determinado propósito é chamada de geração de viagem. Geração de viagem é o primeiro estágio dos modelos clássicos de análise da demanda agregada. A geração da viagem visa prever o número total de viagens geradas e atraídas para cada zona de uma área de estudo. As informações são obtidas por pesquisas e inserção de atributos socioeconômicos, em que cada zona de estudo. Estas zonas são classificadas como:

- Atração de viagens: é uma classificação da zona de estudo devido as suas características, que atraem pessoas porque têm oferta de atividades. Geralmente, possui facilidades relacionadas com aspectos socioeconômicos, quantidade de empregos por setor de atividade, dimensão da área e ocupação predominante do solo, oferta de serviços, disponibilidade de opções de lazer e quantidade de vagas escolares;
- Geração (produção) de viagens: é uma classificação da zona de estudo onde há densidade residencial e muitos residentes com propensão a viajar. A classificação é atribuída pelo tamanho das famílias, número de pessoas que exercem atividades fora de suas residências, número de crianças nas famílias, renda, tipo de ocupação, nível de instrução, sexo, faixa etária dos residentes e posse de automóveis.

As informações e a análise dos dados com a finalidade de atribuir classificação das zonas de estudo são fundamentais na etapa preliminar do modelo de planejamento do transporte. Nesta etapa, as informações são obtidas por meio da aplicação de técnicas estatísticas de regressão linear para obter variáveis explicativas que permitam a projeção futura dos dados, produzindo informações sobre a geração de viagens (BRUTON, 1979);

2. Distribuição de viagens: a classificação das zonas de estudo e do número de viajantes determinados na etapa anterior são analisadas nesta etapa. As viagens geradas, a partir de cada zona, são, então, distribuídas para todas as outras zonas com base na escolha do destino. Isto é chamado de distribuição de viagem e constitui a segunda etapa da modelagem. Há uma série de

métodos para distribuir viagens entre os destinos. São utilizadas técnicas matemáticas em que os volumes futuros são calibrados em função de variáveis socioeconômicas e do custo generalizado. Segundo os autores Santos e Kadota (2012), o custo generalizado é a soma do preço e do valor do tempo exigido em uma viagem. Quanto maior o custo generalizado, menor a demanda. O valor do tempo gasto no transporte varia de acordo com o motivo do deslocamento, o modo utilizado, as condições gerais de conforto, além de outras variáveis. Nesta etapa do processo é gerada, para cada zona de estudo, a distribuição (de cargas ou pessoas) entre as zonas de origem e destino. Os valores de viagens geradas em cada zona são organizados para representar, espacialmente, a interação entre as zonas de divisão da cidade, estimando as viagens entre elas, que podem ser descritas como viagens de “i” a “j” ou “Vij” (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 2011);

3. Escolha modal: muitas vezes chamada de divisão modal, estima a escolha do modo de transporte dada pelo comportamento decisório das pessoas entre modos competidores (transporte público, caminhada ou automóvel particular) para realizar viagens entre as zonas “i” e “j”. Na fase de escolha modal, depois de apuradas as estimativas de uso entre os modos competidores, são distribuídas as viagens da zona de origem “i” à zona de destino “j” pelos diferentes modos de transporte sem considerar as vias ou caminhos da ligação. Essa distribuição é realizada com base nas variáveis e atributos que definem o que o usuário leva em conta para decidir qual será sua escolha. O tipo de escolha depende das características socioeconômicas de quem decide e da disponibilidade e qualidade das opções de escolha. A escolha modal é fortemente influenciada por características, conforme segue:

- Do próprio viajante, ou seja, sua classe socioeconômica, posse ou disponibilidade de automóvel, etc.;
- Características da viagem, como o peso do motivo que gerou a necessidade de deslocamento, períodos, disponibilidade, etc.;
- Características do desempenho do sistema de transporte.

As características do desempenho do sistema de transporte são classificadas como (i) quantitativas ou (ii) qualitativas:

-
- i. Quantitativas: tempo de viagem andando para chegar ao local de acesso ao transporte como PED para os ônibus ou estacionamento; tempo no deslocamento pelo modo de transporte e custo monetário com tarifas do transporte público, de estacionamentos e de pedágios;
 - ii. Qualitativas: envolve variáveis com maior dificuldade de medição, pois se referem ao sentimento das pessoas como a sensação de conforto, conveniência, confiabilidade, regularidade e segurança.

Essas variáveis e seus atributos fazem parte do modelo de escolha modal e são utilizadas para calibração. Os modelos aplicados para a divisão de passageiros entre modais, geralmente, pertencem a dois tipos:

- Probabilísticos: demonstram a relevância de cada modo e sua importância relativa para determinar o percentual de viagens de cada um;
- Determinísticos: utilizam métodos estatísticos como a regressão linear, curvas de desvio e classificação cruzada para obter a proporção de viagens de cada modo.

De acordo com que afirma Arruda (1997), os modelos de escolha modal podem fazer uso de dados agregados ou desagregados. Dados agregados não consideram os viajantes, mas o espaço físico entre as origens e destinos. Dados desagregados levam em consideração os comportamentos das pessoas (que são abstratos); mais complexos de se construir.

4. Alocação de viagens: a última etapa do modelo de planejamento define os caminhos e rotas por onde ocorrerão as ligações entre as zonas. A quantidade de passageiros é distribuída por cada tipo de modal, obtidos na etapa anterior. Os fluxos de transporte levam em consideração o tráfego no eixo viário disponível e o custo para fazê-lo. Para descrever a rede de transportes, cada ligação contém informações como tipo da infraestrutura, comprimento, velocidade ou tempo de percurso, custos e capacidade, entre outras informações.

3.6. Matriz Origem-Destino (O/D)

Os autores Gupta e Shah (2012) definem uma matriz O/D como uma tabela bidimensional que sintetiza a demanda por viagem de uma população, apresentando-a, porém, de forma incompleta, uma vez que deixa de captar a demanda reprimida. Contudo, por intermédio dos dados, é possível determinar como ocorrem os deslocamentos das pessoas entre zonas nas regiões da cidade. As viagens entre as zonas, descritas como viagens de “i” a “j” ou “Vij”, têm a quantidade de viagens que as representam, armazenadas em uma célula da tabela onde as linhas registram as origens (i) e as colunas (j), os destinos. Na Tabela 3 é exemplificada uma matriz genérica que representa os valores de viagens entre as zonas de origem e destino:

Tabela 3: Representação de uma matriz origem-destino.

		ZONAS DE DESTINO (atraem viagens)				
		1	2	...	n	Origens
ZONAS DE ORIGEM (geram viagens)	1	$V_{1,1}$	$V_{1,2}$	...	$V_{1,n}$	$\sum_{j=1}^n V_{1,j} = O_1$
	2	$V_{2,1}$	$V_{2,2}$	...	$V_{2,n}$	$\sum_{j=1}^n V_{2,j} = O_2$
	...	...	...	...	...	...
	n	$V_{n,1}$	$V_{n,2}$	...	$V_{n,n}$	$\sum_{j=1}^n V_{n,j} = O_n$
	Destinos	$\sum_{i=1}^n V_{i,1} = D_1$	$\sum_{i=1}^n V_{i,2} = D_2$	...	$\sum_{i=1}^n V_{i,n} = D_n$	T
		VIAGENS DESTINADAS (D1, ..., Dn)				VIAGENS ORIGINADAS (O1, ..., On)

O somatório da linha contendo valores V_{ij} ($V_{1,1}$; $V_{1,2}$; ...; $V_{1,n}$) representa as viagens originadas na zona de origem 1 (O_1). O somatório da coluna com valores V_{ij} ($V_{1,1}$; $V_{2,1}$; ...; $V_{n,1}$) representa as viagens destinadas para a zona de destino 1 (D_1).

Os valores de $V_{1,1}$ podem ser lidos como: viagens que foram originadas na zona 1 e destinadas para a zona 1, bem como, $V_{2,1}$ pode ser lida como viagens originadas na zona 2 e destinadas para a zona 1 (D_1), e assim, sucessivamente.

Segundo os autores Gupta e Shah (2012), a matriz O/D é amplamente utilizada nos processos de planejamento, especificamente na distribuição de viagens, e ajuda a entender os movimentos das pessoas.

A ideia de reproduzir informações que melhor representem situações reais da movimentação das pessoas tem várias formulações matemáticas. Entre elas, estão as formulações propostas pelos autores: Van Zuylen e Willumsen (1980) e Bell (1984), que discutiram modelos log-lineares. Maher (1983) sugeriu técnicas Bayesianas de estimativa. Spiess (1987) propôs métodos de máxima verossimilhança e Cascetta (1984) e Bell (1991) apresentaram abordagens sobre a formulação generalizada dos mínimos quadrados.

As matrizes O/D têm, como principal fonte de informações, os dados que foram coletados por pesquisas, geralmente domiciliares e realizadas em locais que concentram atividades urbanas com grande demanda, como por exemplo, polos industriais, de comércio e de serviços. As pesquisas para coletar os dados que vão alimentar matrizes O/D exigem amostras que variam no tamanho, de acordo com o objetivo e a abrangência do estudo. Geralmente, quanto mais abrangente e maior for o tamanho da amostra de entrevistados, mais representativos serão os resultados. Desta forma, a complexidade para planejar e executar a pesquisa aumenta de acordo com a abrangência e o tamanho da amostra requerida, pois exige maior esforço e volume de recursos. Apesar de importante nas atividades para planejar o transporte, o alto custo de sua produção desestimula sua realização.

Com esta condição, as matrizes O/D deixam de ser produzidas com a frequência em que são necessárias e causam dificuldades na aplicação do modelo de planejamento que, com o passar do tempo, torna-se incompatível com o avanço das modificações urbanas. Em alguns casos, planejadores optam por realizar pesquisas com menor abrangência ou utilizam levantamento de dados em pontos específicos de controle, sem a necessidade de recorrer a entrevistas. Geralmente, estes pontos de controle estão em locais que apresentam concentração de veículos, cargas ou pessoas, como nos pedágios, PED, estações e terminais.

Nas atividades do planejamento do transporte público coletivo, matrizes O/D simplificadas podem ser construídas com dados obtidos por meio de contagens de

embarque e desembarque de passageiros em PED identificados. São utilizadas técnicas de pesquisas de embarque e desembarque do tipo "santinho" que coletam dados referentes ao número de passageiros viajando entre os pontos de controle. Di Pierro (1985) afirma que, quando há a recolha de informações sobre as transferências entre linhas ou modo de transporte, obtêm-se os totais de viagens geradas e atraídas em cada local da área de estudo, ampliando a utilidade para ações que visem obter equilíbrio entre a oferta de lugares e a demanda de passageiros. Kawamoto (1994) explica que muitos problemas de planejamento e da operação do transporte são resolvidos total ou parcialmente, tendo como base informações que tiveram origem neste tipo de levantamento de dados. O autor acrescenta que a determinação de matrizes de viagens por meio de dados coletados por pesquisas de embarque e desembarque é mais atraente, em termos de economia de recursos, do que métodos convencionais baseados nos resultados obtidos por meio de entrevistas domiciliares.

Apesar da importância das matrizes O/D no planejamento das redes de transporte, nem sempre as cidades dispõem de recursos para obter as informações e analisar os resultados. Mesmo em cidades de maior porte, há economia de recursos a serem empregados na execução de pesquisas para a construção destas matrizes e, devido a isto, decorrem longos períodos entre as atualizações. Em São Paulo, as pesquisas O/D começaram a ser aplicadas no ano de 1997, com atualizações a cada ciclo de dez anos (METRÔ, 2008).

O desenvolvimento de matrizes O/D, que sejam econômicas na utilização de recursos, tem motivado pesquisadores, especialistas e técnicos de transporte a pensar formas alternativas para sua obtenção. Autores como Harmelink et al. (1967), Corradino (1968), Hajj et al. (1971), Coomer e Corradino (1973), Bates (1974), Khasnabis e Poole (1975), Zaryouni e Kannel (1976), Goode (1977), Kristoffersen e Wilson (1977), Rhodes e Hillegass (1978) e Mahmassani et al. (1979) apontam a utilização de dados coletados dos dispositivos eletrônicos móveis dos usuários ou por dispositivos de sistemas inteligentes de transporte (ITS) que reconhecem a circulação deles, como forma de reduzir custos.

3.6.1. Matrizes O/D produzidas por meio da análise de dados coletados por dispositivos eletrônicos.

A expressiva quantidade de dados digitais coletados por dispositivos eletrônicos utilizados nas operações de trânsito e transporte vem atraindo a atenção de especialistas e pesquisadores com o objetivo de aproveitá-los para utilizações que vão além do monitoramento, controle e pagamento.

Os autores Bagchi e White (2003) investigaram, na Inglaterra, os dados coletados por cartões inteligentes para analisar viagens dos passageiros em ônibus nas empresas Merseyside Bus e Bradford, obtendo informações sobre as movimentações da demanda.

Em 2006, nos EUA, Cui (2006) estudou um algoritmo para obter informações em uma matriz O/D sobre os movimentos de passageiros que utilizavam um corredor de ônibus selecionado pelo Chicago Transit Authority (CTA). Analisaram a integração de dados provenientes dos sistemas automáticos de cobrança (AFC), dos contadores de passageiros nos ônibus (APC) e da localização dos veículos (AVL).

Em 2007, para medir a variabilidade espacial da demanda no uso da rede de transporte, Agard et al. (2008) analisaram dados dos cartões inteligentes usados por passageiros do transporte coletivo no Canadá.

Morency et al. (2008) estimaram o desempenho de uma rede de transporte com dados obtidos dos cartões inteligentes por meio de medidas estatísticas de desempenho e métodos de mineração de dados.

Um método para desenvolver pesquisas O/D dinâmicas foi estudado por Bert (2009), usando dados de cartões inteligentes, com resultados satisfatórios.

Pelletier et al. (2009), em um artigo publicado na École Polytechnique de Montréal, divulgaram a aplicabilidade do aproveitamento dos dados das transações dos cartões inteligentes para atividades de planejamento de transportes. Avaliaram, por meio de comparações, os dados obtidos dos cartões e métodos tradicionais de pesquisas de transporte e estudaram sua variabilidade.

Em Londres, durante o ano de 2010, Wang et al. (2011) avaliaram a utilização de dados obtidos automaticamente por sistemas de coleta automática de dados (ADC – *Automatic Data Collection*), para construção de uma base integrada de informações sobre o transporte.

Um estudo da Transport for London (TfL, 2011) analisou dados de entrada e saída de passageiros que se serviram dos serviços do trem urbano (London Overground). Tomou, como base do estudo, as informações obtidas dos cartões inteligentes. O estudo apresentou o carregamento de trechos da rede do serviço, com a quantidade de usuários por metro quadrado em cada trecho.

Em São Paulo, Gouveia e Ferreira (2011) detiveram-se sobre as origens e destinos dos passageiros que usavam o transporte coletivo ao longo de um eixo de ligação entre a zona leste e a região central da cidade. Fizeram uso dos registros dos GPS dos ônibus e dos cartões inteligentes para avaliar as conexões (transferências) e obter o carregamento de passageiros em seções da ligação estudada.

Os autores Lee et al. (2011) propuseram um método de obtenção das informações do transporte público com base nos cartões inteligentes, no artigo que escreveram para o Korea Railroad Research Institute. Argumentaram que os resultados podem ser aplicados para melhorar a operação dos serviços e planejar alterações no atendimento dos usuários, pois, conforme descreveram, os dados são realistas e representam bem as movimentações da demanda.

Nos estudos desenvolvidos pelos autores Nasiboglu et al. (2012), dados provenientes das transações obtidas dos cartões inteligentes são considerados importantes fontes de informação para o planejamento urbano, pois têm o potencial de demonstrar as características das viagens de pessoas que utilizam o transporte público na atualidade.

Em Cingapura, Lijun Sun et al. (2012) estudaram a densidade espacial-temporal dos trens do Metrô na cidade. Utilizaram dados dos cartões inteligentes para entender a dinâmica de embarques e desembarques e desenvolver requisitos

para melhorar ações a fim de combater indisponibilidades do transporte frente às falhas.

Contudo, para realizar estudos similares, há necessidade de desenvolver processos em que estejam incluídas as definições e regras que são próprias do funcionamento de cada sistema de transporte. Segundo Zhao (2004), nas metodologias que abordam os sistemas cujo controle de acesso ocorre apenas na entrada (sistemas abertos), algumas suposições devem ser feitas para se inferir o local de desembarque (destino) do passageiro. De modo geral, a maior dificuldade é obter os locais onde ocorreram os desembarques, uma vez que, na maioria dos sistemas de bilhetagem eletrônica, os validadores apenas registram eventos que representam as origens das viagens.

Nesses casos, é comum utilizar métodos para inferir os locais dos destinos. Nas viagens encadeadas, com uma ou mais transferências e, dentro de um determinado período de horas, uma regra bastante utilizada é a de atribuir ao local do segundo embarque o local de destino da viagem anterior, e assim, sucessivamente, para as demais transferências. Da mesma forma, considerando que o passageiro retorna ao mesmo local onde iniciou o ciclo de viagens, o local de origem da primeira viagem é suposto como o destino da última viagem do dia.

Na Figura 5, representa-se a sequência de viagens do usuário, levando-se em conta a regra acima explicada.

Figura 5 – Sequência dos deslocamentos de passageiros nas viagens

● → Início da viagem 1 - Origem (V1,0) - Exemplo: deslocando-se da residência para o trabalho.

→ ⊗ Final do deslocamento 0 - Destino inferido pela proximidade com o local do próximo deslocamento.

○ → Origem do deslocamento 1 - (V1,1) - Transferência entre linhas.

→ ⊗ Final da viagem 1 - (V1,n) - Exemplo: chegou ao local do trabalho. Destino inferido pela proximidade com o local da próxima viagem.

● → Início da viagem 2 - Origem (V2,0) - Exemplo: deslocando-se para a escola.

→ ⊗ Final do deslocamento 0 - Destino inferido pela proximidade com o local do próximo deslocamento.

○ → Origem do deslocamento 1 - (V2,1) - Transferência entre linhas.

→ ⊗ Final da viagem 2 - (V2,n) - Ex. Chegou ao local da escola. Inferido pela proximidade com o local do próximo deslocamento. Retorna ao local da origem do primeiro deslocamento. Exemplo: retorno para a residência.

NOTA: O local da próximo deslocamento é obtido pelo registro do cartão inteligente no validador do ônibus.
Uma nova viagem é definida quando o tempo entre registros do cartão inteligente é superior a três horas.

Fonte: Autor.

Embora os ITS sejam cada vez mais aplicados no setor de transportes, outras tecnologias também podem prover dados para inferir as movimentações dos passageiros. A evolução de tecnologias embarcadas em *smartphones* possibilita que dados sejam coletados destes dispositivos por sensores instalados na infraestrutura dos locais por onde passam as pessoas que os portam enquanto executam suas atividades. Vários autores produziram estudos que demonstram a aplicação de *smartphones* para gerar informação sobre a circulação das pessoas, como, por exemplo, Kostakos et al. (2010).

Os autores propuseram o uso do Bluetooth de dispositivos móveis para transportar dados para scanners instalados nos ônibus, habilitados para coletar dados específicos. Estes dados identificam o dispositivo móvel e os locais onde os passageiros utilizaram os serviços de transporte. Posteriormente, a análise dos dados permitiu construir matrizes O/D mais precisas.

Em 2012, um sistema utilizando *beacons* em 2 mil ônibus, estações de bicicleta e terminais de transporte na cidade de Tel Aviv, foi utilizado por uma empresa israelense, permitindo o pagamento automático de tarifa nestes locais por meio de smartphones. Os *beacons* são dispositivos que emitem sinais interpretados por aplicativos instalados em *smartphones*. Os *beacons* conectam os *smartphones* por ultrassom a partir do sistema de GPS, associando o passageiro à tarifa do local. Os bilhetes dos usuários são validados automaticamente por meio dos *smartphones* quando entram no veículo — pela porta dianteira ou traseira, eliminando filas. Os dados recolhidos pelo sistema permitiram construir matrizes O/D dinâmicas, atualizadas continuamente, com precisão na identificação dos locais onde os passageiros embarcaram e desembarcaram dos ônibus e informar, em tempo real, a lotação destes veículos (UpOn, 2014).

4. SISTEMAS DE IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

Tudo o que está relacionado com a captação de informações que é sensível e útil para nós seres humanos como: localização, luz, ruído, temperatura, identificação, altitude, movimento, velocidade, e tudo o que pode ser medido pelos sensores está ligado a redes de dados por meio de vários padrões de antenas, equipamentos e processadores para se comunicar com os seus operadores humanos, que precisam tomar decisões (DIAS E.M. et al. 2014).

Neste contexto, os Sistemas de Identificação Automática - Auto-ID (*AUTOmatic IDentification Systems*) são usados em processos para obter informações sobre bens, produtos, pessoas e animais. Estes sistemas utilizam os métodos da Identificação Automática e Captura de Dados, denominados AIDC (acrônimo inglês para *Automatic Identification and Data Capture*), para reconhecer dispositivos, receber dados transmitidos por eles e fornecê-los para sistemas atuadores e para processos de gestão, sem a intervenção humana (FINKENZELLER, 2010).

Os dados recolhidos permitem perceber, rastrear e caracterizar, de forma única, aquilo que se está identificando. A AIDC engloba tecnologias diversas como:

- A. Código de Barras (*Barcode system*);
- B. Biometria (Identificação Biométrica: retina, impressão digital, veias, face, íris dos olhos, voz, geometria da mão, etc.);
- C. Reconhecimento óptico de Caracteres - OCR (*Optical Character Recognition*);
- D. Cartões inteligentes (*smart cards*);
- E. Identificação por Radiofrequência – RFID (*Radio Frequency Identification*);

Na Figura 6 é apresentada uma visão geral dos sistemas de Auto-ID atuais.

Figura 6 - Visão geral das tecnologias de autoidentificação (Auto-ID).

Fonte: Adaptada de Finkenzeller (2010, p.2).

A - Sistemas de código de barras

O código de barras é um código binário impresso que compreende um campo de barras intercalado por espaços vazios, dispostos numa configuração paralela. Pode ser interpretado como uma representação gráfica de números ou sequência alfanumérica, impressa em etiquetas autoadesivas ou papel, passível de ser lida por um aparelho leitor. Este emite um raio vermelho que percorre todas as barras; onde a barra for escura, a luz é absorvida e onde a barra for clara (espaços), a luz é refletida, novamente, para o leitor. Os dados capturados nessa leitura são compreendidos pelo computador, que, por sua vez, converte-os em letras ou números que podem ser interpretados pelas pessoas. (FINKENZELLER, 2010).

De acordo com os autores Glover e Bhatt (2007), é a tecnologia de Auto ID mais utilizada por empresas e comércio nos últimos 40 anos. Um dos motivos é o seu baixo custo de produção e operação. As etiquetas podem ser produzidas por impressoras simples, com uso de papel comum ou etiquetas autoadesivas para impressão das barras. O código mais utilizado pelo sistema é o EAN (*European*

Article Number), sistema internacional que auxilia na identificação única de itens e foi projetado em 1976, inicialmente, para o setor de mercearia. O código EAN é um desenvolvimento do UPC (*Universal Product Code*) dos Estados Unidos. Nos dias atuais, o EAN-13 é o padrão mais utilizado.

A estrutura numérica no código de barras é, geralmente, traduzida por números, impressos abaixo das barras paralelas, conforme ilustrado na Figura 7:

Figura 7 - Código de Barras sistema EAN-13.

Fonte: <http://www.titasraha.com/index.php?id=barcodes>

A representação gráfica e numérica do código EAN-13 está estruturada em treze dígitos que contêm as seguintes informações:

- Os três primeiros dígitos (500) correspondem à identificação da organização responsável por controlar e licenciar a numeração;
- Os próximos seis dígitos (012716) informam a identificação da empresa proprietária do prefixo;
- Os três dígitos seguintes (275) representam a identificação do produto e são atribuídos pelo fabricante, quando o mesmo possui um prefixo próprio;
- O último dígito (4) é chamado de dígito verificador e confirma, matematicamente, que os dígitos anteriores estão corretos.

Atualmente, são usadas duas simbologias de códigos de barras:

- Simbologia linear ou “1D” que usa barras verticais de diferentes larguras separadas por espaços em branco;
- Simbologia bidimensional ou “2D” que usa, além de barras, pontos, quadrados e outros símbolos, cujas denominações mais conhecidas são a PDF417 (*Portable Data Format*), Datamatrix e QR Code.

Na Figura 8 são apresentadas uma etiqueta Data Matrix e uma QR Code, ambas da tecnologia "2D".

Figura 8 – Exemplos das etiquetas Data Matrix e QR Code.

Fonte: <http://www.cellphone-barcode.com/data-matrix/difference-between-data-matrix-and-qr-code.html>

Lahiri (2006) explica que um equipamento leitor portátil é necessário para operações manuais de leitura destas etiquetas, mas tem a vantagem de ser rápido e, geralmente, preciso, chegando à taxa de um erro a cada três milhões de leituras. Complementa que esta tecnologia, principalmente de simbologia "1D", apresenta desvantagens, dadas por vulnerabilidades e limitações que condicionam a sua utilização. São elas:

- Falsificável, pois não possui qualquer mecanismo de segurança;
- Fragilidade, porque as informações impressas sobre papel ou cartão tornam as etiquetas inúteis por deterioração do material;
- Inalterabilidade, pois a informação contida numa etiqueta de código de barras não pode ser mudada e a forma de atualizá-la é substituí-la por uma nova etiqueta;
- Suscetibilidade à luz ambiente porque esta pode afetar a qualidade da leitura;
- Sujeição a dano e vandalismo, já que está, normalmente, acessível e apresenta facilidade para ser inutilizada;
- Sensibilidade à cor do fundo sobre o qual é impressa;
- Sensibilidade ao tipo do material sobre o qual é impressa;
- Ausência de confirmação da validade do código impresso - normalmente, não existe qualquer sistema de confirmação da validade do código

impresso, razão pela qual qualquer erro de impressão só é detectado posteriormente, o que pode resultar em deficiências nos processos que ocorreram entre a leitura e o momento em que o erro foi descoberto;

- Possibilidade de atrasos - o tempo de acionamento entre leituras consecutivas pode introduzir atrasos numa linha de transporte;
- Limitação na emissão de informações – a quantidade de informação que transportam é muito limitada na simbologia “1D”;
- Não identifica um item de forma única – a mesma etiqueta, na simbologia "1D" pode ser aplicada para identificar itens diversos;
- Rastreamento manual - a recuperação da informação do código de barras é realizada por um equipamento portátil de leitura que deve ser operado manualmente;
- Necessidade de sincronismos - quando o produto a ser identificado está em movimento (como em esteiras), é necessário manter o sincronismo entre o tempo de disparo do feixe de leitura emitido pelo leitor, o tempo em que o feixe de leitura se mantém ativo e a velocidade do tapete em que está o item, para que a leitura seja efetuada;
- Demarcação de leituras - um aparelho leitor só pode ler um código de barras de cada vez;
- Necessidade de proximidade com o leitor - para que um código de barras possa ser lido, tem que estar próximo e em linha de vista com o leitor. Além do mais, a distância requerida entre o leitor e o código de barras a ser lido é muito pequena (menor que 1 metro). Leitores modernos, sem fio, têm maior distância de alcance para leitura das etiquetas com código de barras e permitem maior mobilidade ao operador. Têm, no entanto, maior custo de investimento e estão sujeitos às interferências no espaço entre a base e o aparelho leitor.

B - Identificação Biométrica

Biometria é a junção das palavras bio (vida) e metria (medida) e é definida como uma ciência de contagem que utiliza tecnologias em procedimentos

específicos, envolvendo seres vivos. Finkenzeller (2010) explica que, no contexto dos sistemas de identificação automática, biometria é o termo geral usado para todos os procedimentos que identifiquem as pessoas, comparando características físicas inconfundíveis e individuais como a impressão digital, contornos da palma da mão, tonalidade da voz e composição da retina ou íris dos olhos. De acordo com Aware (2009), traços biométricos únicos nos indivíduos habilitam as condições para que equipamentos e dispositivos da tecnologia consigam identificar, de forma eficaz, identidades, sem a necessidade de que equipamentos estejam acoplados ou próximos ao corpo. O autor aponta que as aplicações desta tecnologia têm maior frequência em sistemas de controle de acesso e identificação como, por exemplo, em relógios de ponto, sistemas de identificação bancária no autoatendimento e em processos na área criminal.

As principais medidas biométricas são:

- Impressão digital: capta a imagem da impressão digital com um aparelho leitor biométrico óptico e a compara com as digitais gravadas em um banco de dados de imagens. Método rápido, de alta confiabilidade e baixo custo;
- Reconhecimento da face: identifica pontos da face do indivíduo e os compara com registros gravados em banco de dados. Possui, como características, uma menor confiabilidade por estar sujeito a erros de interpretação desses pontos. No entanto, é rápido e possui baixo custo;
- Reconhecimento da assinatura: muito confiável, embora algumas assinaturas mudem com o passar do tempo; porém, características como pressão, movimentos de posição, entre outras, são únicas de cada indivíduo, tornando extremamente difícil sua falsificação. Método prático e ágil, acessível a todos os públicos. O custo de aquisição e operação pode ser considerado como intermediário;
- Identificação pela íris: mede características únicas da íris do olho das pessoas. É confiável, pois as características da íris são imutáveis com o passar dos anos. Seu custo pode ser classificado como alto;
- Geometria da mão: mede as características geométricas da forma da mão dos indivíduos. É menos confiável, pois a medida adquirida está sujeita à

interferência de anéis nos dedos porque o utilizador precisa encaixar a mão na posição correta. Apresenta custo intermediário;

- Reconhecimento pela retina: é uma tecnologia biométrica que faz a medição de características da retina dos olhos. É confiável devido às características imutáveis da retina. No entanto, a leitura é difícil e incômoda, por exigir o olhar fixo da pessoa para um feixe de luz. Possui alto custo de aquisição, operação e manutenção;
- Reconhecimento de voz: esta tecnologia de biometria apresenta problemas devido à lentidão do processo de reconhecimento, causado por interferências de ruídos no ambiente, por alterações no timbre da voz do utilizador (devido a gripes ou estresse) que causam falsas identificações. Apresenta baixo custo.

Tecnologias emergentes da biometria estão evoluindo para medir outras características do corpo humano, como odores e salinidade, padrões das veias, imagens térmicas do rosto ou punho, análise de DNA, entre outras.

C – Reconhecimento óptico de caracteres (OCR)

O reconhecimento óptico de caracteres ou OCR (acrônimo na língua inglesa para *Optical Character Recognition*) é uma tecnologia para reconhecer caracteres a partir de um arquivo de imagem ou mapa de *bits* escaneados, escritos à mão, datilografados ou impressos. Dessa forma, por meio do OCR, é possível obter um arquivo de texto que pode ser editado por um computador.

Atualmente, além das aplicações administrativas para formar arquivos digitais de documentos impressos, a tecnologia OCR está sendo utilizada em controles no trânsito urbano no que se refere à fiscalização e monitoramento por meio da identificação das placas dos veículos.

D – Cartões inteligentes

São cartões de plástico equipados com componentes de tecnologia que permitem processar, proteger e comunicar dados para autorizar transações financeiras e acessar locais reservados, onde se exige identificação personalizada.

Estudos e aplicações comerciais com cartões inteligentes (*smart cards*) iniciaram-se há mais de 40 anos. De acordo com o que escrevem Nasiboglu et al. (2012), a primeira patente de um cartão de plástico contendo microchip foi formalizada pelos alemães Jürgen Dethloff e Helmut Grotrupp em 1968.

Atualmente, de acordo com a IBM (2009), a tecnologia passou a ser aplicada com maior segurança e eficiência, pois representa o dinheiro que as pessoas, individualmente, possuem ou têm acesso, tornando comum a sua utilização em transações financeiras e como credencial de acesso (clubes, empresas, eventos e em escolas).

E – Radiofrequência (RFID)

A tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) foi projetada para permitir que dispositivos capturem, automaticamente, dados sobre produtos, pessoas, animais e objetos à distância e possam da mesma forma, transmiti-los a um sistema gerenciador, sem a necessidade da intervenção humana.

Ganhou destaque dentro de setores da indústria, comércio, serviços e governo, sendo utilizada em ampla variedade de aplicações: para o controle da cadeia produtiva (logística); rastreamento e localização de produtos; autenticação; controle de acesso; identificação biométrica (implantado no corpo humano); sistemas antirroubos; identificação pessoal (passaportes e em objetos portados por pessoas e animais); pagamento eletrônico por meio de cartões de plástico com microchips; e dispositivos portáteis eletrônicos em componentes embarcados nos *smartphones* (FINKENZELLER, 2010).

Uma comparação entre as principais tecnologias de autoidentificação é realizada na Tabela 5 e considera algumas das suas principais características de funcionamento.

Tabela 5: Comparação entre tecnologias AIDC.

PARÂMETROS DO SISTEMA	CÓDIGO DE BARRAS	OCR	BIOMETRIA	CARTÕES INTELIGENTES (SMART CARDS)	SISTEMAS RFID
Quantidade de dados (bytes)	1 - 100	1 - 100	0	16 - 64k	16 - 64k
Densidade dos dados	Baixa	Baixa	Alta	Muito alta	Muito alta
Velocidade de leitura (legibilidade para máquina)	Boa	Boa	Demorada	Boa	Boa
Possibilidade de leitura (legibilidade para humanos)	Limitada	Fácil	Difícil	Impossível	Impossível
Influência do meio ambiente (existência de barreiras)	Muito alta	Muito alta		Possível	Não influência
Visada	Exige	Exige	Possível	Requer proximidade	Não influência
Influência da posição ou direção	Baixa	Baixa		Unidirecional	Não influência
Desgaste	Limitado	Limitado		Contato	Não influência
Custo para Implantar	Muito baixo	Médio	Muito alto	Baixo	Médio
Custo para operar	Baixo	Baixo	Nenhum	Médio	Nenhum
Falsificação	Possível	Possível	Impossível	Impossível	Impossível
Velocidade de leitura (em segundos)	4	3	5 - 10	4	0,5
Distância do alcance da leitura	50 cm	> 1 cm	0*	0**	5 - 10 m

* Geralmente requer contato físico, exceto em exame de retina que, porém, exige distâncias muito curtas. ** Em cartões sem contato, distancias entre 10 e 20 mm.

Fonte: Adaptada de Finkenzeller (2010).

4.1. A tecnologia de identificação por radiofrequência - RFID

De acordo com Finkenzeller (2010), a identificação por radiofrequência – RFID - é um termo genérico usado para descrever sistemas que transmitem pelo ar a identidade de um objeto ou ser vivo, através de ondas eletromagnéticas. Santana (2011) concorda com a generalidade do termo e explica que a tecnologia utiliza frequências de rádio para captura de dados. Sangreman e Camanho (2011) afirmam que existem diversos métodos de identificação por RFID, sendo a mais comum armazenar um número de série que identifique a pessoa ou objeto em um microchip, dentro de uma etiqueta chamada de TAG.

Lahiri (2006) classificou as aplicações da tecnologia RFID em dois blocos: as aplicações prevaletentes e as emergentes.

- a) As aplicações prevaletentes são aquelas já bem disseminadas e muito utilizadas atualmente, como identificação de itens e rastreamento de bens.
- b) As emergentes são aquelas que são frutos de novos desenvolvimentos voltados ao aperfeiçoamento das aplicações prevaletentes ou daquelas que alcançam novos setores da vida moderna. Nas aplicações emergentes, temos as conceituais, pensadas para aplicações no futuro.

Conforme explica Santana (2011), a necessidade de captura de informações de produtos, enquanto se movimentam ou quando estão contidos em ambientes inóspitos ou insalubres, incentivou a utilização da radiofrequência, principalmente pela ausência de necessidade do contato físico para transferência da informação, tornando-a solução de problemas em várias aplicações. A tecnologia RFID evolui, além de suas utilidades e benefícios, por iniciativas que levam a sua regulamentação e padronização, incentivando seu desenvolvimento, reduzindo custos e aumentando a aceitação no mercado. Neste cenário, iniciativas são observadas nas mais diversas áreas da economia, como na pecuária, segurança, medicina, trânsito e transporte, entre outras. A identificação por radiofrequência pertence às tecnologias AIDC e destaca-se como uma das tecnologias de computação mais difundidas na história. É comprovado que tem sido usada desde a década de 1970 (LAHIRI, 2006).

Em sua forma mais simples, a RFID segue conceitos similares aos da tecnologia dos códigos de barras. No entanto, diferencia-se por aumentar a capacidade em processos diversos que exigem maior complexidade de controle. Várias aplicações com sistemas utilizando a RFID são apresentadas na literatura por diversos autores, entre eles, Santana (2011), Finkenzeller (2010) e Miles et al. (2008). Todos concordam que a RFID tem o objetivo comum de aumentar a eficiência e a produtividade, evitar perdas e reduzir prejuízos em processos utilizados na indústria, comércio e fornecimento de serviços.

Na indústria, o setor automobilístico é o que mais tem investido em pesquisa e desenvolvimento utilizando esta tecnologia; grande parte em sistemas de imobilização para evitar furtos, acionamento automático de veículos (*keyless*) e condução assistida.

O setor de varejo é líder no uso da RFID. Com a tecnologia, busca obter maior eficiência nas operações e ampliar sua capacidade, com maior controle, menor custo com estoques, melhor abastecimento de lojas e processos de encomenda de itens mais ágeis. No setor, existem esforços para utilizar a tecnologia em processos voltados para o marketing inteligente, apoiando clientes e informando melhor sobre produtos e serviços.

O governo é outro setor que apoia o desenvolvimento da tecnologia e prevê uso em larga escala da RFID em documentos e credenciais. Utiliza-a para gerenciamento de frota, gerenciamento de ativos, localização de pessoal e segurança de locais e bens.

Nas aplicações em transporte e logística, amplia-se, cada vez mais, a habilidade para controlar itens, por meio de recursos mais precisos e abrangentes. Com isto, geram-se informações mais detalhadas, úteis na cadeia logística. A RFID tem tido aproveitamento nestes setores e em segmentos da vida moderna, como:

- No rastreamento de "coisas": as aplicações são utilizadas no rastreamento de "coisas", como produtos ou partes de produtos na cadeia de produção, no monitoramento de objetos com alto valor agregado, no controle de materiais perigosos, no monitoramento da movimentação de bagagens em

aeroportos, na identificação de seres vivos e outras diversas aplicações. As "coisas" recebem identificação, que é única para cada uma delas, e podem ser reconhecidas e lidas à distância, à medida que se deslocam por locais monitorados. Além do rastreamento, permitem obter informações sobre suas características como data da fabricação, hora da passagem, peso registrado, data de validade, entre outras diversas informações que podem ser adicionadas (SANTANA, 2011);

- Na monitoração e controle de inventário: devido à capacidade da identificação unívoca, itens podem ser monitorados quando estão armazenados ou enquanto são deslocados, mudando de lugar. Sensores posicionados nas entradas, saídas ou em locais estratégicos por onde percorrem os itens, controlam, automaticamente, a movimentação e podem inserir novas informações. Desta forma, um inventário é, automaticamente, alimentado, pois a entrada ou saída de novos itens atualiza a contagem (LAHIRI, 2006);
- No gerenciamento e monitoração de patrimônio: bens de patrimônio identificados com componentes da tecnologia RFID são reconhecidos, automaticamente, por sistemas de controle, monitorando locais por onde são deslocados. É o caso do gerenciamento de frotas, em que veículos são rastreados enquanto passam em cancelas de bloqueio nas entradas e saídas de fábricas e armazéns, em bombas de abastecimento, áreas de estacionamento e manutenção, permitindo medir o uso e controlar o acesso a determinados locais ou serviços (LAHIRI, 2006);
- No rastreamento e identificação de animais: a identificação animal por sistemas de RFID é realizada por meio de componentes miniaturizados em colares, brincos e em elementos ingeríveis ou injetáveis colocados nos animais. Os colares têm processo simples de aplicação e podem ser reutilizados em outros animais. Os brincos, geralmente mais baratos, podem ser reconhecidos a uma distância de, até, um metro. Cápsulas contendo dispositivos RFID miniaturizados podem ser injetadas sob a pele do animal com um aplicador especial, como se fosse uma injeção, tornando-se um implante subcutâneo. Dispositivos ingeríveis, chamado de bolus intra-ruminais, são comprimidos de forma cilíndrica, revestidos por

material cerâmico resistente a ácido, e podem ficar no estômago dos animais por toda vida, depois de ingeridos. Todas estas aplicações, além de permitir o rastreamento, têm o objetivo de fornecer informações sobre a vida do animal, desde a sua linhagem, data de nascimento, vacinas administradas e peso, entre outras informações. De acordo com Dias (2012), o surgimento de doenças em rebanhos e seus focos podem ser mais bem controlados, impedindo o contato entre animais e a disseminação das doenças contagiosas. Desta forma, o rastreamento do animal torna-se uma certidão de qualidade e vem sendo, cada vez mais, exigido por mercados consumidores;

- Nos implantes em humanos: implantes de componentes da tecnologia RFID em humanos podem ser utilizados como forma de identificação e controle. Este tipo de implante pode ajudar a reduzir tempo perdido nos embarques em aeroportos, acesso a locais onde é necessária a identificação individual e em hospitais, possibilitando o controle de pacientes com doenças. Conforme descreve Cardoso (2000, p. 8):

“[...] tal sistema pode dar suporte à gerência hospitalar, permitindo a analisar, tanto a funcionalidade de setores, quanto o fluxo e o acesso de pessoal, podendo contribuir assim, no estudo e controle da infecção hospitalar.”

- Outro exemplo é escrito por Lahiri (2006), mostrando que o governo do México, em 2004, utilizou a tecnologia de RFID para controlar o acesso dos empregados ao seu centro de computação de 30 milhões de dólares. É um dispositivo miniaturizado contendo componentes da tecnologia RFID, conforme apresentado na Figura 9, que pode ser implantado em humanos (biometria). No entanto, este tipo de utilização ainda é controverso, devido a problemas relacionados à segurança e privacidade das pessoas.

Figura 9 – Chip RFID para implantação em humanos.

Fonte adaptada de: <http://img.theepochtimes.com/n3/eet-content/uploads/2013/11/RFIDchips.jpg>

- Em sistemas antifurtos: componentes simplificados da tecnologia de RFID são bastante utilizados para o controle de saída de produtos em lojas comerciais e podem identificar a passagem indevida de itens. Após o pagamento ou autorização para retirada do item, o dispositivo de identificação automática pode ser retirado ou desativado. De acordo com Heckel (2007), estes sistemas também são utilizados pelo setor automotivo para prover maior segurança aos proprietários de veículos, em sistemas de partidas (nas chaves de ignição, volante ou no painel). Escreve que (p. 57): “[...], se o número de identificação que o leitor de RFID está programado para reconhecer não for o mesmo da chave do carro que deve estar na ignição o automóvel não liga”;
- Em pagamento eletrônico: componentes da tecnologia de RFID são incorporados em cartões plásticos ou objetos e preparados para serem

reconhecidos por equipamentos eletrônicos em Pontos de Venda (POS - *Point of Sale*, em inglês), que valida o usuário e autoriza o pagamento do valor devido. Exemplos dessas aplicações estão presentes no abastecimento de combustível, compra de produtos, pagamento de serviços e de tarifa no pedágio de rodovias;

- Em cartões inteligentes: cartões inteligentes (*smart cards*) possuem muitas aplicações para autorizar pagamentos. Devido aos avanços na área da criptografia, que garante maior proteção dos dados gravados nos cartões nas transações eletrônicas e na capacidade de armazenamento de dados, são amplamente utilizados no setor bancário e comercial e popularmente aceitos pelos seus clientes. Os cartões inteligentes, contendo dispositivos de memória e processador, podem ser com ou sem contato. Os cartões inteligentes sem contato (*contactless smart cards*) precisam apenas aproximar-se de uma antena, pois possuem um transmissor de radiofrequência (FINKENZELLER, 2010).
- No controle de acesso: tipo de aplicação para identificar e controlar o acesso de usuários em locais monitorados. Ao chegar aos pontos de controle, um componente da tecnologia de RFID que está em poder do usuário é identificado. Se for autorizado, seu acesso é permitido. Esta aplicação é comum no controle dos funcionários em empresas, identificando-os, autorizando o acesso e registrando dados sobre o local, data e hora em que o dispositivo foi reconhecido.
- Em supermercados: componentes da tecnologia RFID recebem a atenção do mercado varejista, principalmente pelas redes de supermercados. Neste tipo de aplicação, por exemplo, cada carrinho do supermercado tem um sensor que capta e registra o preço dos produtos que nele são colocados. Ao passar no caixa, um atendente não precisa registrar novamente os produtos. Basta anotar o que está computado na tela do carrinho. Algumas lojas do Wall Mart nos EUA, do MetroGoup da Alemanha e da rede Pão de Açúcar, no Brasil, já possuem certo número de produtos equipados com a tecnologia RFID, funcionando como teste para futuras implementações.

4.2. Breve história do desenvolvimento e evolução da tecnologia RFID.

A tecnologia de identificação por meio de radiofrequências não é nova. Os primeiros estudos originaram-se das descobertas da indução mútua ou eletromagnética de Michael Faraday em 1831. Segundo publicado pelo Instituto de Física da Universidade de São Carlos, tal descoberta foi escrita mais tarde em uma forma matemática pelo físico e matemático alemão Franz Ernst Neumann no ano de 1845, que a chamou de "Lei de Faraday" (IFSC, 2010).

Em 1864, o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell estabeleceu a formulação matemática das leis da eletricidade e do magnetismo (TAPARELLI, 2002).

Em 1880, Henrich R. Hertz demonstrou ser possível enviar e receber dados utilizando radiação eletromagnética, através do espaço livre (LALIC, 2011).

Em 1896, Guglielmo Marconi, físico italiano, obteve, na Inglaterra, a patente de um transmissor de sinais sem fio e, entre os anos 1894 e 1897, tornou-se o inventor do primeiro sistema prático de telegrafia sem fios. O sucesso desses experimentos rendeu-lhe o Prêmio Nobel de Física de 1909 (TAPARELLI, 2002).

Em 1934, Pierre David, revisando as teorias sobre eletromagnetismo estudadas pelo alemão Christian Hulsmeyer, iniciou experiências para o desenvolvimento de um sistema de detecção por ondas de rádio de alta frequência, eficiente para a localização de aviões. Simultaneamente, Henri Gutton e Maurice Ponte conseguiram criar um dispositivo de detecção similar que funcionou com precisão. Em 1935, foi instalado o primeiro sistema de rádio telemetria no navio Normandie, para prevenir a aproximação de obstáculos (ASCAMA e DAVE, 2010).

Em 1937, Sir Robert Alexander Watson-Watt, físico escocês, descreveu um sistema de detecção de objetos à distância por RADAR (Detecção e Telemetria pelo Rádio ou *Radio Detection And Ranging*, na língua inglesa).

Em 1939, as descobertas neste campo foram exploradas por alemães, ingleses e japoneses para fins militares durante a segunda guerra mundial, com aplicações em sistemas de alertas para informar sobre a aproximação de aeronaves e embarcações. Na época, o uso dessas tecnologias na aviação, apesar de eficiente, nem sempre era eficaz, pois não garantia proteção contra ataques por aviões inimigos. Havia muitas falhas na transmissão de dados de reconhecimento e não se podia garantir, com exatidão, se a aeronave que se aproximava era aliada ou inimiga. Então, os alemães descobriram que manobras realizadas nos seus aviões, enquanto retornavam à base, a certa distância, podiam modificar o sinal de rádio refletido de volta para o radar localizado na base (reflexão das ondas eletromagnéticas ou *backscatter*, na língua inglesa). Na física, *backscatter* (ou *backscattering*) é a reflexão de ondas, partículas ou sinais, de volta para a direção de onde eles foram originados. Este procedimento, combinado com os pilotos das aeronaves, permitia que a base terrestre soubesse que se tratava de um avião aliado. Este tipo de comunicação, que consumia 1 *bit* de informação, era passiva, pois o avião refletido não possuía um transmissor de sinais por radiofrequência (DOBKIN, 2008).

Miles et al. (2008) escrevem que, na mesma época, os ingleses da Força Aérea Real Britânica (RAF – Royal Air Force) desenvolveram um sistema de identificação de aviões militares amigos ou inimigos (IFF - *Identification Friend or Foe*). O sistema era composto por *transponder* instalado na aeronave, que respondia a sinais específicos enviados pelos sistemas de rastreamento das bases terrestres. Uma aeronave que se aproximasse da base, caso não respondesse aos sinais emitidos, era abatida.

Os autores Shahram e Manish (2005) explicam que os componentes nas aeronaves já tinham evoluído para sistemas ativos com 2,5 *bits* de informação, gerando seis códigos de identificação distintos. Este é considerado como o primeiro sistema passivo de RFID. Em meados dos anos 50, surgiram os *transponders*, que ainda são usados na aviação. Os *transponders* modernos transmitem 12 *bits* de identificação.

Estudos e pesquisas sobre os radares e comunicações por radiofrequência continuaram durante as décadas de 50 e 60; cientistas e acadêmicos japoneses, europeus e norte-americanos apresentaram diversos resultados que tratavam sobre pesquisas na identificação remota de objetos (DOBKIN, 2008).

Nos Estados Unidos, em 1958, o físico e engenheiro elétrico Jack St. Claire Kilby tornou-se responsável pela pesquisa no campo da miniaturização de circuitos elétricos na empresa Texas Instruments Inc., onde, naquele mesmo ano, projetou o primeiro circuito integrado com dimensões reduzidas.

Os estudos e os desenvolvimentos, apresentados naquela década, serviram de base para desenvolvimentos de soluções na área comercial, principalmente em sistemas antirroubo. Surgiram os sistemas EAS – *Electronic Article Surveillance*, com dispositivos magnéticos que eram embutidos em produtos. Estes dispositivos, chamados de etiquetas ou TAG, eram desativados ou retirados dos produtos no momento de sua compra. A presença da TAG era detectada quando passava por sensores colocados nas portas dos estabelecimentos, disparando um alarme. Este tipo de sistema é encontrado em funcionamento até os dias atuais.

Com o desenvolvimento dos transistores e avanços na área de microeletrônica durante a década de 70, surgiram as primeiras pesquisas sobre o uso da Ultra Alta Frequência - UHF (sigla para o termo inglês *Ultra High Frequency*), utilizada para reconhecimento à distância. Eram utilizadas TAG sem bateria e com maior capacidade de identificação, compostas por um capacitor e um indutor, que tornavam possível o acoplamento indutivo da corrente de energia aos seus dispositivos. Dessa forma, um sinal emitido por uma fonte externa permitia a modulação, gerando uma interação passiva entre os dispositivos (SHAHRAM e MANISH, 2005).

Ainda nos anos 70, o governo dos Estados Unidos, por meio de seu Departamento de Energia, realizou pesquisas sobre a tecnologia RFID no Laboratório Nacional de Los Alamos, onde cientistas e pesquisadores desenvolveram um sistema de rastreamento de cargas contendo materiais nucleares. No projeto, os caminhões que transportavam os materiais foram equipados com TAG e equipamentos leitores de RFID foram posicionados nos locais

autorizados para receber as cargas. Os caminhões foram reconhecidos quando passaram por estes locais e, a carga que transportavam, era identificada. Em 1975, os cientistas tornaram públicas as pesquisas sobre a tecnologia que haviam criado sobre o sistema para controle de veículos (HECKEL, 2007).

De acordo com os autores Oliveira et al. (2008), a primeira patente para uma TAG ativa da tecnologia RFID, contendo memória regravável, foi requerida por Mário W. Cardullo, em 23 de janeiro de 1973. Nesse mesmo ano, Charles Walton, um empreendedor da Califórnia, recebeu a patente por um *transponder* passivo usado para destravar uma porta, sem a utilização de uma chave (em que um cartão com um *transponder* embutido comunicava com um receptor localizado perto da porta). Quando o receptor detectava um número de identificação válido armazenado na TAG, a porta era destravada por meio de um mecanismo.

Na mesma época, grandes empresas como a Rautheon, RCA e Fairchild começaram a desenvolver a tecnologia de sistemas de identificação eletrônica para fins comerciais. Em 1978, desenvolveram um *transponder* de micro-ondas passivo. No mesmo ano, setores da agropecuária nos EUA interessaram-se pelo rastreamento de gado e os pesquisadores de Los Alamos desenvolveram um sistema com tecnologia de RFID que operava em baixa frequência (LF) a 125 kHz, possibilitando o desenvolvimento de TAG de tamanho reduzido. Este desenvolvimento incentivou a construção de uma cápsula de vidro, contendo uma TAG em seu interior, para implantação sob a pele dos animais. Este sistema é utilizado ainda hoje para controle do rebanho e, em pessoas, para ter acesso a ambientes onde existe muita restrição.

Devido às iniciativas dos cientistas de Los Alamos e suas descobertas no campo da identificação automática de objetos, em 1989, foi implantado, com sucesso, um sistema automatizado de pedágio em Dallas, nos Estados Unidos. Este sucesso incentivou a criação do grupo E-Zpass, em 1990, para promover o pedágio automatizado nos EUA. O grupo implantou um sistema de cobrança eletrônica em pedágios, utilizado em estradas, pontes e túneis no nordeste dos Estados Unidos, ao sul de Carolina do Norte e oeste de Illinois. Todas as agências membros usam a mesma tecnologia E-ZPass, permitindo aos viajantes usar o mesmo *transponder* em

toda a rede. Em seguida, sistemas similares foram implantados em Oklahoma (em 1991) e Califórnia (em 1992).

No final da década de 80, foi estabelecido o padrão S-918 pela Associação de Ferrovias Americanas – AAR, da American Railroads, para identificação de vagões nos EUA, baseado em TAG passivas, operando na faixa ISM, acrônimo de *Industrial, Scientific and Medical* (Industrial, Científica e Médica), de 902 a 928 MHz. Em 1994, praticamente todos os vagões estavam equipados com TAG (SOUSA, 2010).

No início de 1990, engenheiros da IBM desenvolveram e patentearam o RFID de ultra-alta frequência (UHF). Alguns testes foram feitos na rede varejista Wal-Mart, mas a tecnologia não chegou a ser comercializada. Depois, em meados de 1990, por problemas financeiros, a IBM vendeu a patente para a empresa Intermec, fornecedora de códigos de barras. Posteriormente, o sistema de RFID da Intermec foi utilizado em inúmeras aplicações, desde rastreamento de estoque até atividades na agricultura.

Após a guerra do Iraque em 1991, o Departamento de Defesa dos EUA (DoD – *Department of Defense*) começou a utilizar RFID para localizar, identificar e proteger os containers militares, usando *transponders* ativos. Naquele mesmo ano, a Texas Instruments criou a TIRIS, (*Texas Instruments Registration and Identification System*), divisão da empresa responsável pela produção e desenvolvimento da RFID, com o objetivo de realizar pesquisas avançadas sobre esta tecnologia (ROBERTI, 2005).

Em 2014 o mercado total da tecnologia RFID era de 9,2 bilhões de dólares americanos, valor que ficou acima dos resultados dos anos anteriores - 2013 com US\$ 7,88 bilhões e 2012 com US\$ 6,98 bilhões (DAS e HARROP, 2014). Na Figura 10 um gráfico demonstra o crescimento do mercado global entre os anos de 2012 e 2014.

Figura 10 – Gráfico das projeções do mercado RFID em bilhões de dólares.

Fonte: <http://www.idtechex.com/research/reports/rfid-forecasts-players-and-opportunities-2014-2024-000368.asp>

No total, 5,9 bilhões de TAG foram comercializadas em 2013 contra 4,8 bilhões em 2012. A maior parte deste crescimento deveu-se a encomendas de TAG UHF passiva que ultrapassou as vendas de TAG HF e LF em volume de vendas.

Somente no setor varejista, em 2013, foram exigidas 2,25 bilhões de TAG. No setor de transporte, foram fabricadas 600 milhões de TAG, incluindo as utilizadas em cartões inteligentes para pagamento da tarifa. Na pecuária, a identificação de animais utilizando RFID, teve crescimento substancial, uma vez que se torna exigência legal em vários territórios, com 375 milhões de TAG comercializadas no setor.

Com base num histórico de dados dos últimos dez anos, DAS e HARROP (2014) projetaram para o ano de 2024, resultados que superam US\$ 30 bilhões. Os resultados incluem a comercialização de TAG, leitores RFID, softwares e serviços. O

governo, varejo, transporte e logística foram identificados como os setores que mais realizam investimentos neste mercado e, juntos, representarão 60% da receita acumulada ao longo dos próximos anos.

4.3. Componentes da tecnologia RFID e suas características

Os sistemas da tecnologia RFID podem ser considerados subsistemas de um sistema industrial, comercial ou agrícola e são classificados como sistemas corporativos (*Enterprise Systems*). Simplificadamente, estes sistemas determinam como a tecnologia é aplicada e sua interligação com os diversos componentes de gestão da informação da empresa, descrevendo as regras do negócio, os fluxos dos dados e como serão disponibilizados e processados pelos utilizadores em seus processos. Os sistemas integram-se à tecnologia de RFID e determinam as requisições dos dados que necessitam. Na Figura 11 procura-se demonstrar uma arquitetura genérica de um sistema corporativo que utiliza RFID em suas operações:

FIGURA 11 - ARQUITETURA DE COMPONENTES EM UM SISTEMA RFID

Fonte: Adaptado de: <http://integrasiutama.com/services/rfid/>

Os sistemas RFID são compostos por um transceptor e uma TAG. O transceptor é composto por um leitor de RFID (RFID-Reader) e uma ou mais antenas e a TAG encapsula uma antena e o *transponder* (FINKENZELLER, 2010), conforme ilustrado na Figura 12, a seguir:

Figura 12 - Componentes principais de um Sistema RFID

Fonte: <http://RFID-handbook.de/about-RFID.html>

De acordo com Oliveira (2008), os sistemas RFID funcionam quando uma TAG entra no campo de alcance da antena do leitor de RFID que a energiza. Ao término da energização, forma-se o sinal de radiofrequência que permite o envio dos dados para a antena que capta o sinal. O mesmo autor complementa que, na TAG semipassiva, este processo é mais rápido, em comparação com a TAG passiva, devido à presença de uma pequena quantidade de energia interna. Nas TAG ativas o processo é automático, ou seja, quase que instantâneo, pois elas não precisam ser energizadas para emitir o sinal. Algumas descrições sucintas sobre estes componentes são:

4.3.1. A TAG-RFID

De acordo com Finkenzeller (2010), são chamadas de etiquetas inteligentes (*smart labels*), etiquetas RFID, TAG-RFID, etiquetas eletrônicas, ou, simplesmente, TAG. Geralmente, ficam fixadas ou inseridas em objetos, pessoas ou animais para tornar possível sua identificação exclusiva à distância, permitir seu rastreamento e a inserção, ou recuperação, de informações sobre suas características.

Shahram e Manish (2005) explicam que, uma TAG combina componentes de circuitos em sua estrutura para receber e responder requisições e esta composição a torna um dispositivo transmissor e receptor ou, simplesmente, transceptor (fusão das duas palavras). Na literatura, também é comum encontrar as denominações *transceiver* (*transmitter + receiver*) ou *transponder* (*transmitter + responder*), nomes derivados das fusões das palavras inglesas.

Oliveira et al. (2008) escreve que uma TAG tem, em sua formação física, uma antena em forma de bobina e um microchip acoplado com capacidade para processar e armazenar dados. Estes elementos são montados sobre um substrato, geralmente, em forma de etiqueta flexível ou como plástico fino. Santini (2006) explica que, sobre a estrutura que integra os componentes RFID, pode ser aplicado um revestimento único que aumenta sua durabilidade, pois protege os componentes contra danos causados por manuseio e intempéries. Santana (2011) complementa que o processo de embutir os componentes RFID neste formato é chamado de *inlay* ou *inlet* e habilita as condições para que os componentes possam ser acondicionados em diversos formatos como plástico, vidro e epóxi em diferentes produtos como cartão plástico, rótulo de papel, chaveiro, pastilha, cápsula e argola, entre outros.

Lahiri (2006) escreve que, quando pronta, uma TAG é um dispositivo que pode armazenar e transmitir dados para equipamentos leitores sem a necessidade de contato, usando ondas de rádio. Uma representação genérica de uma TAG é apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Exemplo de uma TAG RFID

Fonte: Adaptada de <http://www.e-energistic.com/hf-smart-label/>

Cada tipo de TAG exige uma quantidade mínima de energia para ter potência suficiente para responder às requisições do equipamento leitor de RFID (FINKENZELLER, 2010).

4.3.1.1. Classes das TAG de acordo com a forma de energização

De acordo com Oliveira et al. (2008), o acesso à fonte de alimentação de energia define a classe à qual pertence a TAG e quais são suas especificações. Bessam (2011) explica que essas classes são:

- Passivas: necessitam do campo eletromagnético emitido pelo leitor de RFID para ativar o microchip interno. Quando as ondas de rádio do leitor são encontradas por uma TAG passiva, a antena dentro dela forma um campo eletromagnético, gerando a energia necessária para sua ativação. Como não usa bateria e sua constituição básica é, apenas, dada pelo microchip e pela bobina (antena), esta classe de TAG é a opção mais barata para rastreamento de produtos;
- Semipassivas: têm composição mais complexa, pois possuem bateria interna para energizar os circuitos eletrônicos internos e demais sensores que podem ser incorporados. Utilizam, para emitir o sinal, o mesmo mecanismo das TAG passivas, pois precisam que o equipamento leitor de RFID inicie a comunicação e, a partir daí, responda com os dados programados para emitir. Por possuir uma fonte interna de energia, pode alimentar maior quantidade de circuitos e sensores de condição que são aplicados para gerenciar a evolução de variáveis com maior complexidade, como níveis de temperatura, poluição, umidade, etc. As TAG desta classe são utilizadas para monitorar atributos de produtos ou mercadorias, independentemente da ativação feita por um leitor de RFID. As TAG com sensores de condição incluem circuitos que leem e transmitem diagnósticos de volta para o seu sistema de sensores. A energia adicional permite, também, a existência de memória com maior

capacidade de armazenamento e maior poder de processamento. As TAG desta classe têm menor uso no mercado, mas possuem funções adicionais com diferentes sensores de medida;

- Ativas: são mais sofisticadas do que as TAG das classes anteriores, pois contam com bateria própria para funcionar e não necessitam de leitores próximos para energizá-las. Devido a esta característica, emitem, continuamente, sinal em faixas de frequências mais elevadas e alcançam uma distância maior para transmitir dados. Possuem memória RAM com maior capacidade de armazenamento, capaz de guardar até, 32KB de dados. A existência de uma fonte de energia própria fornece condições para alimentar circuitos mais complexos e habilitar capacidade de memória e computacional que não podem funcionar em uma TAG passiva. Podem ser aplicadas tanto em sistemas que requerem portabilidade e mobilidade quanto em conjunto com sistemas de GPS, para permitir o monitoramento remoto de cargas e veículos no trânsito. Estas TAG podem incorporar sensores que registram a evolução de variáveis como temperatura, pressão ou umidade a que o objeto em que está aplicada está sujeito. Contudo, possuem maior custo por causa da sua maior complexidade e menor tempo de vida útil, devido à limitação da bateria;
- Semiativas: são TAG da classe ativa, mas que permanecem sem atividade até serem ativadas por um leitor de RFID que esteja próximo. Quando ativadas, entram no modo de funcionamento similar ao de uma TAG ativa. Uma desvantagem em relação a uma TAG da classe ativa é o tempo gasto no processo de ativação que pode gerar um atraso e provocar a sua não leitura em processos onde passe pelo leitor a uma velocidade elevada ou, ainda, quando existe um número elevado de outras TAG para serem lidas em curto espaço de tempo. Entretanto, o mecanismo de funcionamento da TAG semiativa tem a vantagem de economizar a vida útil da bateria, que pode durar anos.

Na Tabela 6, a seguir, são comparadas as principais características das TAG, de acordo com o tipo de energização requerido:

Tabela 6: Comparação entre as principais características das TAG.

CARACTERÍSTICA	TAG	
	PASSIVA	ATIVA
Alcance	Até 10 metros	Até 50 metros
Fonte de energia	Energizada pelo equipamento leitor de RFID	Bateria interna e transmitida pelo leitor de RFID
Multileitura	3000 unidades	1000 unidades
Sensores	Não	Sim
Durabilidade	Ilimitada*	3 a 5 anos
Custo	Baixo	Alto
Dimensões	Pequena	Grande

*Depende da exposição às condições ambientais e tipo de manuseio.

Fonte: Finkenzeller, (2010).

A TAG da classe passiva pode durar décadas sem comprometimento de seu funcionamento, dependendo de fatores como manuseio e condições atmosféricas do ambiente onde opera. A vida útil da TAG ativa depende de dois fatores principais:

- A qualidade da bateria usada;
- O número de vezes em que é solicitada a transmitir um sinal.

Uma comparação entre vantagens e desvantagens entre as classes das TAG é demonstrada no quadro na Tabela 7.

Tabela 7: Vantagens e desvantagens entre classes de TAG.

CLASSE DA TAG	VANTAGENS	DESVANTAGENS	UTILIZAÇÃO
Passiva	<ul style="list-style-type: none"> . Maior durabilidade. . Maior variedade de fabricantes. . Maior flexibilidade mecânica. . Baixo custo de fabricação e menor preço de venda. 	<ul style="list-style-type: none"> . Distâncias limitadas a 4-10 metros. . Alto controle imposto pelas regulações locais. 	<ul style="list-style-type: none"> . Amplamente utilizada em aplicações de RFID . TAG opera em LF, HF ou UHF.
Semipassiva	<ul style="list-style-type: none"> . Maior distância de comunicação. . Podem ser usadas para administrar outros dispositivos como: sensores de temperatura, sensores de pressão, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> . Expansivo, devido à bateria e à embalagem da TAG. . Impossibilidade de determinar a vida útil da bateria ou se está em boas ou más condições de uso, principalmente em ambientes com vários transponders. 	<ul style="list-style-type: none"> . Usada principalmente em sistemas de tempo real para rastrear materiais ou equipamentos de alto valor. . TAG operam em UHF.
Ativa	<ul style="list-style-type: none"> . Não são abrangidas pelas mesmas regras rigorosas de alimentação impostas em TAG passivas. 	<ul style="list-style-type: none"> . Proliferação generalizada de transponders ativos apresenta um risco ambiental por produtos químicos potencialmente tóxicos em baterias. 	<ul style="list-style-type: none"> . Usada em logística para rastreamento de contêineres em trens, caminhões, etc. . TAG opera em UHF ou micro-ondas.

Fonte: Adaptado de <http://manish516.files.wordpress.com/2012/10/>

4.3.1.2. Classes das TAG de acordo com a capacidade de leitura e escrita

Os autores Shahram e Manish (2005), Nishida (2008), Dias (2008) e Bessam (2011) explicam que as TAG também são categorizadas pela capacidade de o microchip acoplado a ela realizar operações de leitura e escrita de dados em sua memória. São separadas em cinco classes:

- Classe 0 – Somente leitura (*Ready Only* - RO)

Esta classe envolve os tipos mais simples de TAG, geralmente passivas, onde os dados são escritos apenas uma vez durante o processo de fabricação, não permitindo atualizações futuras. A Classe 0 é também utilizada para definir uma categoria de etiquetas EAS (Monitoramento Eletrônico de Produtos) que são utilizadas em larga escala por lojas comerciais, fixadas em produtos diversos, como dispositivos antirroubo. Este tipo de etiqueta não possui uma identificação que possa ser transmitida porque não tem esta funcionalidade, sendo apenas anunciada sua presença quando passa por antenas, já que o sistema utilizado não identifica uma TAG específica. Por isso, para esta aplicação, a TAG possui apenas 1-bit.

- Classe 1 – Escrita somente uma vez (*Write Once Read Many* - WORM).

A TAG desta classe é fabricada sem dados gravados em sua memória. Os dados podem ser escritos, posteriormente, pelo seu proprietário. Em geral, é gravado um código Eletrônico do Produto - EPC (*Electronic Product Code*) que identifica o produto ou objeto em que a TAG está fixada. Apenas uma escrita de dados é permitida, impossibilitando qualquer escrita posterior, podendo, somente, ser lido o número originalmente gravado.

O EPC é um número que permite identificar, de forma única, objetos, cargas, lugares, bens e outras entidades a serem rastreadas com RFID ou códigos de barras, (HECKEL, 2007).

A TAG desta classe atua como identificador e pertence à classe das TAG passivas.

- Classe 2 – De leitura e gravação (*Read-Write* - RW).

Nesta classe, as TAG semipassivas podem ser denominadas como etiquetas inteligentes (*smart labels*), pois permitem que usuários escrevam e leiam dados em sua memória. Diferente de uma TAG que armazena apenas um número identificador, a que contém uma memória RW é utilizada como registrador de dados e possui maior quantidade de espaço para gravação. Normalmente, apenas um número de série é escrito durante seu processo de fabricação, o qual não poderá ser

alterado posteriormente; porém, blocos de dados adicionais podem ser usados para armazenar informações diversas sobre os itens.

- Classe 3 – Com sensores instalados (*Read Write with sensors*).

A TAG desta classe contém sensores que permitem capturar estados diversos do meio ambiente em que atua quando está em funcionamento, tais como, temperatura, pressão e movimento, que podem ser armazenados na memória. Como a leitura do sensor pode ser realizada sem um leitor de RFID próximo, as TAG desta classe podem ser semipassivas, semiativas ou ativas, com alimentação própria de energia. São TAG com funções similares às da classe 2, podendo, também, comunicar-se com elas.

- Classe 4 – Com transmissores (*Read Write*) – Com transmissores integrados.

Geralmente, as TAG desta classe possuem memória do tipo EEPROM - *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*, ou também, do tipo FRAM (*Ferro-magnetic Random Access Memory*). Podem ser reprogramadas diversas vezes, permitindo atualizações dos dados gravados em sua memória. Apresentam características que as habilitam comunicar-se com outros dispositivos, inclusive outras TAG, sem a necessidade de um leitor de RFID. Possuem funcionalidades similares às da classe 3 e capacidade de energizar TAG das classes anteriores. Podem comunicar-se com outras TAG das classes 4 e 5. Apesar das vantagens, possuem custo mais elevado que as anteriores.

- Classe 5 – Com transmissores (*Read Write*) – *Readers*

A memória que permite leitura e escrita desta classe de TAG pode ser reprogramada diversas vezes, possibilitando várias atualizações dos dados. Estas TAG são similares às da classe 4 e apresentam funcionalidades adicionais para transmitir energia e comunicar-se com outras TAG. Podem estabelecer comunicação com outros dispositivos, como os leitores de RFID. Na tabela 8 é apresentada uma comparação entre os diferentes tipos de TAG e suas principais características.

Tabela 8: Diferentes classes de TAG.

Diferentes Classes de TAG				
CLASSES	TIPO	MEMÓRIA	FONTE DE ENERGIA	APLICAÇÃO
0	EAS, EPC	Nenhuma EPC	Passiva (externa)	Antirroubo, identificação, etc.
1	EPC	Somente Leitura	Qualquer	Identificação
2	EPC	Leitura e Escrita	Qualquer	Registro de dados
3	Sensores	Leitura e Escrita	Semipassiva/Ativa (externo-interna)	Sensores
4	Sensores	Leitura e Escrita	Ativa (interna)	Rede Ad-hoc

Fonte: Adaptada de <http://manish516.files.wordpress.com/2012/10>

4.3.1.3. Classes das TAG de acordo com a frequência de operação

As TAG RFID também podem ser classificadas de acordo com a frequência em que operam. A frequência é a característica que permite maior ou menor distância de alcance de reconhecimento em um sistema RFID (FINKENZELLER, 2010).

Segundo Garfinkel e Holtzman (2005), dependendo do tipo de aplicação, diferentes frequências são utilizadas e os padrões são divididos por seus espectros. Possuem diversas características e influenciam na velocidade e qualidade do sinal propagado em relação à distância. Inicialmente, os sistemas da tecnologia RFID usavam ondas de rádio que estavam, geralmente, entre as frequências de 30 kHz e 5.8 GHz. Conforme os sistemas foram evoluindo e sendo estabelecidos os padrões, algumas faixas mais específicas foram adotadas para utilização. Hoje em dia, as faixas de frequência geralmente encontradas são 125/134 kHz, 13,56 MHz, 860-960 MHz e 2,4 - 2,45 GHz (LAHIRI, 2006).

As faixas de frequência nas quais as TAG operam são:

- LF (*Low Frequency*)

Os sistemas de baixa frequência (LF) são utilizados por TAG passivas. Incluem frequências entre 125 e 134 kHz e apresentam baixas taxas de transferência com o leitor de RFID. Possuem pouca capacidade de memória e de armazenamento de dados, porém, apresentam bom desempenho em ambientes que contêm metais e líquidos. Sobre esta característica, Glover e Bhatt (2007, p. 53) afirmam que: “[...] diferentes frequências possuem diferentes propriedades. Sinais de frequência mais baixos são mais capazes de viajar pela água, enquanto que frequências mais altas podem carregar mais informações”.

A baixa frequência permite uma taxa reduzida de dados para serem transmitidos. Para Moroz (2004), uma vantagem desta faixa é que ela penetra na maioria dos materiais, como metais, água e na própria pele do corpo humano. Devido ao seu comprimento de onda, consegue penetrar paredes não metálicas, tornando-se ideal quando está instalada dentro de uma caixa ou perto de água.

Santana (2011) afirma que nos sistemas LF, para usar a energia enviada pelo leitor de RFID, as TAG usam acoplamento indutivo realizado pela transferência de energia de um circuito a outro, em virtude da indutância mútua entre eles. São utilizados para curtas distâncias de leitura e em sistemas de baixo custo. Sua maior desvantagem é a interferência que pode ser causada por motores elétricos em ambientes industriais.

- HF (*High Frequency*):

Os sistemas que operam na faixa de alta frequência fazem-no dentro do princípio de comunicação das antenas de RADAR. Segundo Santana (2011), esta faixa inclui frequências entre 3 MHz e 30 MHz, sendo que as TAG operam, tipicamente, em 13.56 MHz, e apresentam baixo desempenho na presença de metais e líquidos. A diminuição no comprimento de onda faz com que os sinais sejam refletidos por superfícies, em vez de atravessá-las.

O custo de implantação deste tipo de sistema é mais elevado em comparação com os sistemas LF e tem alcance de leitura de, até, 1,5 metros. Como vantagem,

as TAG que operam em HF têm taxa de transferência elevada e podem armazenar maior número de dados (GARFINKEL e HOLTZMAN, 2005).

- UHF (*Ultra High Frequency*):

A faixa de ultra-alta frequência (UHF) inclui frequências entre 300 MHz e 3 GHz e a comunicação da TAG com o leitor de RFID é via modulação do sinal recebido por ela que, por sua vez, irradia-o de volta para o leitor de RFID. As TAG que operam nesta faixa podem ser facilmente acopladas a diversos tipos de materiais, porém, não funcionam bem perto de metais ou água, pois seus sinais são refletidos ou absorvidos, respectivamente.

Esta faixa é utilizada quando os leitores de RFID precisam ler as TAG a uma distância maior do que as obtidas pelas faixas LF e HF. Sua principal característica é funcionar por meio de acoplamento por propagação e, por isto, este tipo de sistema consegue alcances superiores a três metros de distância.

Seu processo de fabricação é relativamente simples, contribuindo para seu baixo custo. Outra vantagem deste sistema é que todos os protocolos na faixa UHF oferecem capacidade anticolisão, permitindo que várias TAG sejam lidas simultaneamente (GARFINKEL e HOLTZMAN, 2005).

- MF (*Microwave Frequency*):

A banda MF, também chamada de micro-ondas, inclui frequências entre 2 GHz e 30 GHz, sendo que, apenas a frequência de 2.45 GHz, é utilizada em aplicações de RFID. Os sistemas RFID que operam em MF detectam a TAG a distâncias elevadas, chegando até 10 metros. As TAG que operam no sistema MF alcançam distâncias maiores que as demais e podem ser utilizadas por TAG passivas, semipassivas e ativas (SILVA, 2008).

Nesta banda, as taxas de transferência de dados entre a TAG e o leitor de RFID são altas, porém, não penetram na água ou metal. São mais caras que TAG passivas UHF e as aplicações são, geralmente, voltadas para controle de pedágio e menos comuns no mercado em geral (DOMDOUZIS et al. 2007). Os leitores que

operam nesta frequência são conhecidos como leitores de RFID de micro-ondas (DOBKIN, 2008).

A Tabela 9 apresenta as classes dos sistemas RFID, de acordo com suas faixas de frequência, pontua características e principais aplicações, possibilitando comparações.

Tabela 9: Classes de sistemas RFID de acordo com as faixas de frequência e suas características.

BANDA DE FREQUÊNCIA	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES TÍPICAS
LF De 100 a 500 KHz - Baixa Frequência.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizada desde a década de 80. ➤ Bom funcionamento com barreiras líquidas e metal. ➤ Baixo alcance (Menor que 0,5 metro). ➤ Tipo de TAG: Passiva ➤ Baixa velocidade de transferência de dados. ➤ Baixo custo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificação de animais. ➤ Automação industrial (cadeia de produção). ➤ Controle de acesso.
HF De 3 a 30 MHz - Alta Frequência.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizada desde a década de 90. ➤ Padronização (aceitação mundial). ➤ Alcance entre 1 e 1,5 metros (de curta a média distância). ➤ Baixa velocidade de leitura ➤ Geralmente, de baixo custo. ➤ Tipo de TAG: Passiva ➤ Funcionamento com desempenho limitado na presença de metais. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cartões inteligentes (<i>smart cards</i>). ➤ Controle de acesso. ➤ Sistemas antifraude. ➤ Aplicações de rastreamento. ➤ Identificação e monitoração de pessoas.
UHF 433 MHz e de 860 a 960 MHz Ultra Alta Frequência	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizada desde o final da década de 90. ➤ Alcance em torno de 3 metros (maior que as HF). ➤ Em sistemas que utilizam TAG ativas operando com frequência de 433 MHz, alcança centenas de metros. ➤ Alta velocidade de leitura. ➤ Funcionamento com desempenho limitado na presença de líquidos e metais. ➤ Tipo de TAG: Passiva ou Ativa ➤ Padronização local pode trazer dificuldades na implantação. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cadeia de suprimentos e logística (Rastreamento, gestão de estoques, etc.).
Micro-ondas (Maior que 2.0 GHz)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizado há várias décadas. ➤ Transferência de dados rápida. ➤ Opera com TAG ativas e passivas. ➤ Alcance menor que 10 metros. ➤ Tipo de TAG: Passiva, Semipassiva e Ativa. ➤ Funcionamento com desempenho muito limitado na presença de líquidos e metais. ➤ Alto custo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pedágios (cobrança eletrônica à distância). ➤ Identificação à distância. ➤ Rastreamento de veículos. ➤ Processos de automação industrial.

Fonte: Adaptada de Sweeney II (2005).

4.3.1.4. Classes das TAG de acordo com a capacidade de armazenamento

As TAG também podem ser classificadas quanto à capacidade de armazenamento. Segundo Heckel (2007), as TAG têm um *bit* ou mais *bytes* e podem ser classificadas em:

- EAS - *Eletronic Article Surveillance*:

É o tipo de TAG passiva com mais baixo custo e amplamente utilizada pelo mercado varejista. As TAG que pertencem à classe AES são aplicadas para vigilância eletrônica de mercadorias, para controlar a movimentação e aumentar a segurança.

As TAG também são chamadas de 1 *bit transponder*, porque utilizam apenas 1 *bit* para comunicar-se com dispositivos leitores. Elas podem estar ligadas quando o *bit* tiver valor igual a 1 e desligadas quando o valor for 0.

Segundo Sagula Filho (2012), o objetivo delas é proteger o comércio contra furtos de produtos. Quando estão ativadas, elas são identificadas pelas antenas localizadas nas saídas das lojas, supermercados, lojas de departamento, magazines, bibliotecas e farmácias.

Estas etiquetas, apresentadas na Figura 14, são aquelas utilizadas em roupas, eletroeletrônicos, produtos cosméticos de alto valor, CDs, DVDs, livros, entre outros produtos.

Figura 14 – Exemplos de TAG EAS.

Fonte: http://bsafe.en.ec21.com/Hard_Tag_Security_Tag--4389192.html

No caso de etiquetas ou TAG híbridas, as mais utilizadas no mercado são as composições de tecnologias, como a EAS e outras distintas, como RF/AM, RF/Rfid, AM/Rfid, Rfid/Preço/EAS, entre outras combinações. Estas TAG são fixadas nos produtos manualmente e, em geral, são reutilizáveis.

As etiquetas eletrônicas antifurto podem ser classificadas em quatro modelos:

- Etiquetas de radiofrequência (RF): mais utilizadas em livros, eletroeletrônicos e alimentos. Sua colocação é manual e elas são descartáveis.
- Etiquetas eletromagnéticas (EM): com utilização mais específica em livros, revistas e periódicos. São finas e podem ser colocadas entre as páginas, tornando-as quase invisíveis. Sua colocação é manual e a etiqueta é descartável.
- Etiquetas rígidas sistema acusto-magnético (AM): aplicadas em produtos de perfumaria, cartelas em geral ou produtos de higiene pessoal. Sua colocação pode ser manual ou automatizada na linha de produção e elas são descartáveis.
- TAG rígidas de radiofrequência (RF): fixadas em peças de confecções, calçados e outros acessórios. Sua fixação é manual e elas são reutilizáveis.

- SAW - *Surface Acoustic Wave*:

Nesta classificação, as TAG são chamadas, geralmente, de onda acústica de superfície. Possuem um identificador único que é gravado no processo de sua fabricação, não podendo ser mais alterado. As TAG desta classe não possuem baterias ou microchips e operam através de micro-ondas. Para sua ativação, a antena recebe um pulso de micro-ondas proveniente do equipamento leitor de RFID e é energizada (GLOVER e BHATT, 2007).

As TAG do tipo SAW têm, como limite, a capacidade de memória até 32 bits, restrição que, na prática, também limita os identificadores desta classe.

- *N-bit Transponder*.

Um bit é a menor unidade digital de informação que pode ser representada e tem apenas dois estados: 1 e 0. Isso significa que apenas dois estados podem ser representados por sistemas baseados em um *transponder* de 1 bit: (1) a TAG está na zona de interrogação e; (2) a TAG não está na zona de interrogação. Apesar

desta limitação, as TAG de 1 bit são muito utilizadas em dispositivos antirroubo em lojas de eletrônicos. As TAG destas classes possuem memória do tipo EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) que permite gravar informações adicionais, além do identificador, em aplicações de RFID. Geralmente, a memória deste tipo tem características que não lhe permitem ser volátil, para assegurar que os dados fiquem guardados quando o dispositivo está em seu estado de repouso. Seu conteúdo pode ser eletricamente apagado e regravado diversas vezes.

Estas TAG são mais complexas que as demais e, algumas delas, utilizam criptografia e técnicas anticóllisão quando estão agrupadas com outras TAG. Elas podem ser passivas ou ativas, podendo ter microchips com processadores completos (GLOVER e BHATT, 2007).

4.3.1.5. O microchip

O microchip é um importante componente de uma TAG RFID. Em eletrônica, a descrição resumida do microchip é que ele é um circuito eletrônico miniaturizado, composto, principalmente, por centenas ou milhares de transistores integrados entre si e dispostos em uma superfície de material semicondutor. Obedecem a um projeto de arquitetura que garante a implantação nas regiões definidas em uma pastilha de silício.

A Figura 15 apresenta exemplos de microchip em relação a um dedo humano, demonstrando suas dimensões.

Figura 15 - Fotografias de microchips comparando suas dimensões a um dedo humano.

**Fonte: Imagem à esquerda: <http://telepathhero.blogspot.com.br/>
Imagem à direita: <http://www.theepochtimes.com/>**

O microchip de silício contém, em seu interior, um microcontrolador que é utilizado para processamento de aplicações de controle e, por esta razão, também é chamado de controlador embarcado. O silício é utilizado para a produção de ligas metálicas, na preparação de silicones, na indústria cerâmica; por ser um material semiconductor muito abundante, apresenta um interesse bastante especial para a indústria eletrônica e microeletrônica, pois é considerado a base para a produção de transistores para chips, células solares e diversas variedades de circuitos eletrônicos.

O desenvolvimento tecnológico e o avanço nos processos de produção permitiram que, atualmente, o microchip apresentasse baixo custo, alto desempenho e grande confiabilidade. Além disto, os componentes do microchip são formados no processo de fabricação (ao invés de montados), o que lhes garante maior resistência mecânica e aplicação em construções robustas que requerem proteção contra choques e impactos mecânicos. Devido as suas dimensões, apresentam maior portabilidade dos dispositivos eletrônicos que abrigam. Estas características asseguram-lhes grande aceitação e importância no mercado (FINKENZELLER, 2010).

4.3.1.6. O microcontrolador

O microcontrolador é formado, basicamente, pelos componentes do microchip e pode ser projetado e construído por diferentes produtores, assumindo, desta forma, características distintas uns dos outros.

Os microcontroladores operam sobre sequências de instruções gravadas em sua memória. Após extrair uma instrução da memória, eles a decodificam e realizam as operações escritas. Geralmente, para a programação das instruções de um microcontrolador, é utilizada a linguagem de programação *Assembly*, mas, também podem ser utilizadas linguagens de programação de alto nível como C e PASCAL, para que valores hexadecimais sejam escritos na memória de programa do dispositivo.

Na Figura 16 é demonstrada uma estrutura genérica de um microcontrolador, constituída pela memória de programa, memória de dados, Unidade Lógica Aritmética (ULA), controladores e portas de entrada e saída.

Figura 16 – Esquema de uma arquitetura básica de um microprocessador.

Fonte adaptada de: http://www.ee.nmt.edu/~rison/ee308_spr99/lectures.html

4.3.1.7. A memória

A memória em um microcontrolador pode ser classificada como memória de programa e memória de dados. Na memória de programa é carregado o programa desenvolvido pelo programador. Na memória de dados são gravados os dados temporários utilizados pelo programa.

De acordo com Ibrahim (2006), existem quatro tipos de memória que são disponíveis em microcontroladores:

1. *Random Access Memory* (RAM) – Memória de Acesso Aleatório: é uma memória de propósito geral volátil que guarda os dados que estão em uso corrente pelo programa;
2. *Read Only Memory* (ROM) – Memória Somente de Leitura: possui dados fixos armazenados. É programada na fábrica e seu conteúdo não pode ser alterado;
3. *Erasable Programmable Read Only Memory* (EPROM) – Memória Somente de Leitura Programável e Apagável: similar à ROM, é uma memória não volátil programada por dispositivo eletrônico e seu conteúdo pode ser apagado, utilizando luz ultravioleta (UV);
4. *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory* (EEPROM) – Memória Somente de Leitura Programável e Apagável Eletricamente: utilizada para armazenar dados do programa. Os dados podem ser apagados e regravados, usando um dispositivo de programação.

4.3.2. O leitor de RFID

Segundo Lahiri (2006), o leitor de RFID é um equipamento utilizado para reconhecer as TAG que são compatíveis com seu sistema, para energizá-las quando for necessário o uso dessa energia, estabelecer comunicações, fornecer informação, recuperar dados armazenados e transmiti-los ao sistema de informação da empresa. Santana (2005) explica que a TAG passa pela área de cobertura da antena acoplada ao leitor e o campo magnético é detectado. Neste momento, são decodificados os dados que estão na TAG. Para Finkenzeller (2010), um equipamento leitor de RFID também tem a capacidade de escrever numa TAG, caso

ela ofereça este recurso. Afirmar que as operações de leitura e escrita são executadas usando um princípio mestre-escravo, em que o leitor de RFID assume o papel de mestre e a TAG responde aos seus comandos.

Um equipamento leitor de RFID típico contém um módulo de radiofrequência (composto por dispositivo transmissor e receptor), uma unidade de controle e um dispositivo acoplador (antena). Existem no mercado leitores de RFID que são equipados com uma interface adicional para transferir os dados para uma aplicação em particular, como por exemplo, um computador, um dispositivo PLC (Controlador Lógico Programável) ou outro, (FINKENZELLER, 2010). Assim, o equipamento leitor de RFID pode ser considerado como o centro de controle de um sistema RFID e é responsável, além de estabelecer comunicação com vários elementos do seu próprio sistema, por gerenciar a ligação entre vários sistemas processadores e atuadores externos, formando uma rede operacional completa (GLOVER e BHATT, 2007).

4.3.2.1. Unidades físicas e lógicas

Segundo descreve Santini (2006), o equipamento leitor de RFID contém unidades que funcionam como subsistemas físicos e lógicos em seus dispositivos.

- As unidades físicas são compostas por:

- Subsistema controlador: gerencia o funcionamento do leitor de RFID e executa suas ações de acordo com uma programação. O controlador pode ser mais intrincado de acordo com a complexidade do negócio em que é aplicado. Determina, por exemplo, o momento em que um evento identificado deve ser enviado a outros subsistemas.
- Subsistema de antenas: as antenas estão conectadas na parte externa do equipamento leitor de RFID, mas podem estar na parte interna, em alguns casos. O funcionamento destas antenas é gerenciado pelo subsistema controlador e define a emissão das ondas eletromagnéticas, bem como a recepção dos dados por meio dos sinais refletidos pelas TAG.
- Subsistema de interface de rede: gerencia a conexão entre dispositivos externos e o equipamento para transferir a informação coletada dentro de

uma programação específica. Pode, também, receber requisições desses equipamentos externos, respondendo de acordo com as parametrizações fornecidas. Segundo Glover e Bhatt (2007), a conexão externa pode ser física, por meio de porta serial (rede ethernet) ou pelo ar, através de tecnologias de comunicação sem fio.

- Unidades lógicas:

Dentro do subsistema controlador existem, pelo menos, quatro subsistemas lógicos. Cada um deles é responsável por realizar o gerenciamento de partes físicas do leitor de RFID. Glover e Bhatt (2007) descrevem os subsistemas lógicos do controlador como:

- Comunicador: sua função principal é gerenciar as funções de comunicação do leitor de RFID. Controla o protocolo de transporte dos pacotes de dados trocados com os dispositivos externos. Opera as comunicações por meio de tecnologias como *Ethernet*, *Bluetooth*, *Wi-fi* ou outro protocolo desenvolvido pelo fabricante para enviar e receber as mensagens.
- Interface de Programação dos Aplicativos - API (*Application Programming Interface*): a API fornece as rotinas e os padrões programados para estabelecer a troca de informações entre as aplicações dos equipamentos externos com o leitor de RFID. Permite, por uma interface, que um usuário externo configure o funcionamento do leitor, como por exemplo, os níveis de energia em que deve operar.
- Controlador de antenas: programa as rotinas cujos processos permitem realizar requisições às TAG por meio das antenas acopladas ao equipamento leitor de RFID.
- Gerenciador de eventos: controla a ordem dos eventos e define quais deles são válidos e devem ser armazenados na memória do microchip. Para este fim, filtra e seleciona as TAG compatíveis e os dados que devem ser recolhidos. A complexidade das tarefas do controle de eventos

depende do tipo de TAG a ser reconhecida e da programação a ser realizada.

Das características das unidades físicas e lógicas disponíveis no equipamento leitor de RFID, depende maior ou menor disponibilidade de facilidades como:

- Variedade de métodos de modulação na emissão e na recepção de sinais;
- Disponibilidade de recursos para alterar a programação das funcionalidades de operação do leitor de RFID e facilidade para atualização do *firmware*;
- Existência de interface de usuário que permita selecionar a frequência e modo de funcionamento do leitor de RFID;
- Disponibilidade de recursos automáticos para evitar interferências de outros leitores de RFID, motores ou demais equipamentos de comunicação de dados no ambiente onde opera.

4.3.2.2. Características de portabilidade e mobilidade dos leitores

Lahiri (2006) explica que os equipamentos leitores de RFID possuem vários leiautes, cujas características podem permitir portabilidade e mobilidade compatíveis com os requisitos que as empresas exigem nos setores em que serão utilizados. Descreve os tipos principais como sendo:

- Fixos (ou estacionários) – instalados em estruturas fixas próximas a locais por onde circulam objetos com TAG afixadas (locais estratégicos em armazéns, portas de acesso, esteiras de transporte ou de escoamento, etc.). Geralmente, nestes casos, o leitor possui antenas externas que são montadas em paredes, mobília ou alguma estrutura adequada para facilitar as leituras das TAG. Um exemplo de um leitor RFID fixo é apresentado na Figura 17;

Figura 17 – Desenho que ilustra a posição de um leitor RFID Fixo.

Fonte: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrfid2/pagina_3.asp

- Móveis – acoplados a equipamentos usados no transporte das mercadorias como porta-paletes, carrinhos e empilhadeiras (Figura 18). O leitor apenas registra as TAG dos objetos que estão sendo transportados naquela unidade, sem, no entanto, registrar a mudança do local dada pelo deslocamento do equipamento. Em alguns casos, o uso de antena externa no equipamento de transporte permite seu posicionamento para reconhecer, além das TAG dos objetos que estão sendo transportados, TAG dispostas em pontos da estrutura por onde percorrem, permitindo associar a localização;

Figura 18 – Fotografia de um leitor RFID móvel.

Fonte: <http://free-stock-illustration.com/passive+rfid+tags?image=1624559267>

- Manuais (*Handheld*) – são unidades móveis transportadas e operadas por funcionários para realizar a leitura de TAG em itens para identificar e

recolher informações. Na Figura 19, um exemplo de uma unidade móvel em operação é apresentado.

Figura 19 – Fotografia de um leitor RFID manual em operação

Fonte:

http://w5.siemens.com/portugal/web_nwa/pt/portalinternet/quemsomos/negocios/industry/ia_dt/sensorandcommunication/pages/sistemasrfid.aspx

- Seriais - leitores de RFID seriais usam um enlace de comunicação serial para se comunicar com uma aplicação. Geralmente são utilizados os padrões RS-232 e RS-485. Nestes casos, a mobilidade pode ser reduzida devido ao comprimento do cabo. Na Figura 20 é apresentado um equipamento leitor com uma saída serial RS-232.

Figura 20 – Fotografia de um leitor RFID serial.

Fonte: <http://www.rfidsystems.com.br/edge-50.html>

- Rede – o leitor de RFID utiliza comunicação de uma rede de dados para transmitir informações à distância;
- Ágeis - leitores de RFID ágeis podem operar em diferentes faixas de frequência e usar diversos protocolos de comunicação, aumentando a flexibilidade do uso para gerenciar itens diversos. Normalmente, também são estacionários.

4.3.3. As Antenas nos sistemas RFID

A antena é o dispositivo especializado para emitir e reconhecer sinais dentro de um sistema de RFID. Um exemplo de antenas montadas em uma estrutura é apresentado na Figura 21. Do ponto de vista da transmissão, atua como uma estrutura preparada para criar ondas, que possuem características tanto magnéticas quanto elétricas, geradas a partir de tensões e correntes elétricas que formam um campo eletromagnético (FINKENZELLER, 2010). Por este motivo são chamadas de ondas eletromagnéticas.

Segundo Dobkin (2008), a antena executa os procedimentos de como foi determinada a geração do campo eletromagnético para realizar a troca de

informações entre o leitor de RFID e a TAG. Por meio da antena, um leitor de RFID irradia ondas de rádio que ativam a TAG e, neste processo, realiza a leitura e a escrita de dados. De acordo com a potência e a frequência utilizada, a emissão de ondas de rádio é propagada em diferentes direções e distâncias.

Figura 21 – Fotografia de uma estrutura com antenas RFID.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification

O equipamento leitor de RFID que se comunica com as TAG passivas ou semipassivas deve manter, através da antena, emissão de onda contínua para habilitar as condições para que as TAG devolvam os sinais, enquanto, ao mesmo tempo, recebem as suas respostas.

Sistemas RFID operam com dois tipos de antenas. As antenas acopladas nos leitores de RFID e as antenas das TAG. Elas operam sob os mesmos princípios, mas os desafios práticos concernentes a cada uma delas são bastante distintos, relacionados, principalmente, com custo e tamanho. Enquanto uma antena de UHF para um equipamento leitor de RFID custa em torno de US\$ 200,00, uma TAG completa, incluindo microchip, antena e substrato, tem um preço entre US\$ 0,07 e US\$ 0,15 para aplicações de alto volume.

4.3.3.1. Características de portabilidade e mobilidade das antenas

Outra importante característica das antenas é o leiaute que pode possuir junto aos leitores de RFID. Segundo publicado por Glover e Bhatt (2007), estes leiautes podem ser do tipo:

- Portal: são antenas projetadas para reconhecer itens identificados que estão em movimento. As antenas do tipo portal podem estar localizadas nas entradas e saídas de locais onde os objetos identificados com TAG são movimentados. Este tipo de leiaute pode ser utilizado em depósitos, bibliotecas e estabelecimentos comerciais para controle de produtos. São muito utilizados em sistemas EAS para vigilância eletrônica de artigos. Um exemplo de antenas acopladas numa estrutura no formato de portal é apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Fotografia de um portal com antenas RFID.

Fonte: <http://logsticadofuturorfid.blogspot.com.br/2013/09/tudo-sobre-rfid-acabe-com-as-duvidas.html>

- Túnel: o leiaute do tipo túnel é usado, geralmente, ao longo de uma esteira transportadora e pode ser muito parecido ao do tipo portal. A vantagem é a blindagem das frequências de rádio emitidas, que são redirecionadas ou absorvidas. Segundo escrevem Glover e Bhatt (2007, p. 103):

"[...] um túnel é como um pequeno portal com a vantagem de que um túnel também pode incluir escudo RFID, que absorve a energia RF mal direcionada ou refletida que poderia interferir com outros leitores e antenas próximos. "

Um exemplo de um leiaute tipo túnel para operação dos sistemas RFID é apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Fotografia de antena RFID do tipo túnel.

Fonte: <http://img.logismarket.es/in/precintia-international-importante-grupo-financiero-nacional-confia-en-precintia-para-montar-su-centro-logistico-tecnologia-rfid-de-precintia-575301-FGR.jpg?imgmax=800>

- Portátil: as antenas, neste leiaute, geralmente são integradas ao corpo do equipamento leitor portátil para dar maior mobilidade, de forma que seu operador possa alcançar a identificação de itens onde seria muito difícil obtê-la, pela inconveniência, inviabilidade ou mesmo impossibilidade de alcançá-la ou mover os itens identificados para alcance da atuação da antena (GLOVER e BHATT, 2007). Um exemplo de um leitor RFID portátil com antena acoplada é apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Fotografia de uma antena portátil acoplada a um leitor RFID manual.

Fonte: http://skyrfid.com/Readers_UHF_860960.php

- Empilhadeira: as antenas ficam acopladas em locais de uma empilhadeira para realizar a identificação de caixas e containers. Geralmente, são utilizadas em fábricas e em portos. A Figura 25 apresenta um modelo de uma empilhadeira equipada com antenas RFID.

Figura 25 – Fotografia de uma empilhadeira com antenas RFID acopladas.

Fonte: <http://andreaspessotto.com.br/wp-content/uploads/2014/01/empilhadeirarfid.jpg>

- Prateleira inteligente: as prateleiras ganham o adjetivo de inteligentes porque possuem antenas de um leitor RFID acopladas em sua estrutura. Estas antenas permitem monitorar a retirada ou inclusão de itens identificados por TAG, tornando possível acompanhar, em tempo real, o estoque, a data de retirada, data da inclusão, validade e preço (GLOVER e BHATT, 2007). Na Figura 26 é apresentado um exemplo de uma prateleira com dispositivos da tecnologia de identificação por radiofrequência.

Figura 26 – Fotografia de uma prateleira inteligente, equipada com dispositivos de RFID.

Fonte: <http://brasil.rfidjournal.com/noticias/vision?12771>

4.3.4. O middleware

Em programas tradicionais de computadores, várias funções eram codificadas para atender requisitos diversos, tornando a codificação penosa e susceptível a revisões, sempre que algo do contexto inicial em que havia sido projetada mudasse. As aplicações modernas, no entanto, delegam e centralizam estes serviços a um programa especialista, que serve como elemento concentrador para fornecer coerência a um conjunto de aplicações e ambientes. Estes programas especialistas

recebem o nome de *middleware*. Com sua utilização é possível prover uma interoperabilidade entre as interfaces de um sistema de forma simples, sem a necessidade de alterações nos códigos mais importantes. Caso alguma das interfaces seja alterada, somente pequenas mudanças no *middleware* já resolvem a incompatibilidade.

Definições de diferentes autorias concordam que, de maneira geral, o termo *middleware* representa programas de computador que proveem a comunicação entre programas diferentes, por meio da sua mediação, mesmo sendo independente deles.

Segundo Foina (2007), *middleware* é um conjunto de serviços que permite a interação entre aplicações e usuários finais por meio de uma rede de computadores, ou seja, é o software que está acima das redes de comunicação e abaixo dos programas de aplicações dos negócios. O termo é utilizado para se referir ao programa de computador que tem o objetivo de executar a ligação entre sistemas separados. A empresa de inteligência em telecomunicações TELECO (2013) descreve *middleware* como um termo geral, normalmente utilizado para se referir a um conjunto de códigos de software que atuam como aglutinadores, ou mediadores, entre dois ou mais programas existentes e independentes. Sua função é trazer independência das aplicações com o sistema de transmissão. Para a Rede Nacional de Pesquisa – RNP (2006), o *middleware* é o neologismo criado para designar camadas de software que não constituem diretamente aplicações, mas que facilitam o uso de ambientes ricos em tecnologia da informação.

Os programas classificados como *middleware* são aplicados para obter compartilhamento de recursos e a troca de informações entre programas, contornando as diferenças entre protocolos de comunicação, plataformas e demais requisitos do sistema operacional. Geralmente, contêm módulos de programa de alto nível que integram a ligação entre aplicações construídas por diferentes linguagens e interfaces de baixo nível que permitem a independência de *hardware*, resolvendo problemas de heterogeneidade. Além de mediar a comunicação, a camada de *middleware* concentra serviços como identificação, autenticação, autorização, diretórios, certificados digitais e outros, com o objetivo de prover segurança.

Em aplicações da RFID, o *middleware* é responsável pela interface entre os sistemas lógicos dos leitores com sistemas lógicos de outras aplicações de gestão da empresa. É ele que incorpora o software que permite o registro das comunicações entre TAG e leitor de RFID, solicita as informações necessárias à base de dados e fornece essas informações ao leitor de RFID para que ele possa dialogar com a TAG, mantendo o sincronismo das ações. O *middleware* é o responsável por filtrar o grande número de dados coletados pelos leitores de RFID, pela depuração das informações recebidas pelas antenas e por converter essas informações em algo que o sistema do cliente possa interpretar. Na Figura 27, a posição do *middleware* em um sistema RFID é demonstrada, tendo em vista que atua tanto nos processos dos subsistemas RFID, como nos processos de gestão da empresa.

Figura 27 – Desenho esquemático da posição do *middleware* em sistemas RFID.

Fonte: Autor.

Para Glover e Bhatt (2007), há três motivos para se utilizar *middleware* em sistemas RFID: encapsular as aplicações das interfaces de dispositivos, processar as informações brutas capturadas pelos Leitores de RFID de modo que as aplicações só vejam eventos significativos e para gerenciar Leitores de RFID e consultar observações do sistema, utilizando, para isto, suas funções programadas.

4.3.5. As impressoras RFID

Impressoras RFID são equipamentos que podem codificar a TAG e imprimir os identificadores em papel ou adesivos. Conforme descreve Santini (2006), este tipo de equipamento é muito usado no caso em que o identificador tem que ser rapidamente anexado a um item, como por exemplo, no controle de malas de um aeroporto. Para este tipo de aplicação, existem impressoras RFID que, além de imprimir, anexam o identificador ao item.

Segundo Glover e Bhatt (2007), as impressoras RFID podem imprimir identificadores, códigos de barra e outras informações que são lidas e interpretadas pelas pessoas. Para aplicações em pequenos volumes de itens, um operador pode aplicar, manualmente, os rótulos inteligentes. Aplicações em grandes volumes requerem dispositivos mais rápidos para atender à demanda de itens, como os dispositivos aplicadores de TAG.

4.4. Padronização da tecnologia RFID

A evolução da tecnologia de RFID permitiu a ampliação do mercado de soluções para o controle e automação que vêm sendo aplicadas de acordo com as características dos negócios das empresas, indústrias, comércios e em setores que prestam serviços públicos, aumentando a utilização de sistemas com esta tecnologia.

A tecnologia de identificação por radiofrequência vem sendo usada sem alterações significativas ao longo dos anos. À medida que aplicações utilizando esta tecnologia vêm sendo mais implementadas por empresas, houve necessidade de estabelecer padrões.

Segundo afirma Martins (2005, p. 4):

A finalidade da padronização e de normas é definir as plataformas em que uma indústria possa operar de forma eficiente e segura. Os maiores fabricantes de RFID oferecem sistemas proprietários, o que resulta numa diversidade de protocolos de sistemas de RFID numa mesma planta industrial.

Neste sentido, várias organizações dedicaram-se ao desenvolvimento de padrões e ainda se empenham para que as definições sejam amplamente aceitas e adotadas pelo mercado. As organizações que lutam pela definição de padrões globais são:

- Auto-ID Center:

De acordo com que relata Santana (2005), por meio dos laboratórios do Auto-ID, conceitos e recomendações foram definidos e apresentados para o uso da tecnologia de RFID. Decorrente dos estudos realizados, o Auto-ID Center considerou, principalmente, os benefícios do uso da frequência UHF na faixa de 900 MHz, uma vez que foram as TAG que obtiveram os melhores resultados entre custo e alcance de leitura, adequados para grande parte das aplicações.

- EPCglobal (GS1):

Em 2003, a americana UCC (*Uniform Code Council*) e a Europeia EAN International (*European Article Numbering*), que administravam a identificação por meio de códigos de barras em produtos do varejo, criaram a EPCglobal, com o objetivo de aperfeiçoar os estudos acadêmicos e torná-los efetivos em aplicações do mercado; assim, desenvolveram os EPC da primeira geração, chamados de EPC Gen 1, com o objetivo de disseminar o seu uso.

No final de 2004, a EPCglobal desenvolveu um novo protocolo denominado EPC Gen 2 (geração 2) que apresentou capacidade de memória adicional para outros dados relevantes no gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Em 2005, a EPCglobal mudou de nome, passando a chamar GS1 (*Global System One*) e dedicou-se à concepção e implementação de normas e soluções para melhorar a eficiência e a visibilidade das cadeias de suprimentos a nível mundial (PEIXOTO, 2011) e (CG1, 2014). Estabeleceu requisitos para atender regulamentações em relação às bandas UHF alocadas para o RFID (diferentes para cada região). Apresentou melhorias no protocolo de comunicação e modificações no EPC, devido ao aumento de capacidade da memória. (EPCglobal, 2005b).

- Organização Internacional para Padronização (ISO)

Como os primeiros sistemas de RFID eram aplicados apenas para algumas atividades internas das empresas, não havia preocupações em relação a uma padronização para a tecnologia. Segundo Moroz (2004), o primeiro setor a solicitar uma padronização foi o da pecuária, para a aplicação de identificação de animais. A partir daí, a ISO (International Organization for Standardization) definiu vários padrões para sistemas que operavam em LF e HF, desenvolvendo o protocolo de dados, interface aérea e aplicações com a tecnologia de identificação por radiofrequência. Finkenzeller (2010) escreve que foram definidos os padrões ISO 11.784, 11.785 e 14.223 aplicados para identificação de animais utilizando RFID; a ISO 69.873 para ferramentas; ISO 10.374 para identificação de containers, o VDI 4470 para sistemas antifurto (EAS) e a série ISO 18.000 para gerenciamento de produtos. Criados na década de 90, os padrões ISO 14.443 e 15.693 foram estabelecidos para sistemas que operam em 13,56 MHz. Eles foram utilizados em cartões inteligentes sem contato (*contactless*) para aplicações de controle de acesso. A NXP (*spin-off* da Philips), Infineon (*spin-off* da Siemens) e a *Texas Instruments* desenvolveram vários componentes para fabricação da TAG e de equipamentos Leitores de RFID baseados nesses padrões.

No final de 2004, a GS1 e a ISO iniciaram um plano para unificar os padrões de interface aérea, com a especificação EPC Classe 1 Geração 2, definindo o padrão de interface aérea (BHATT e GLOVER, 2006). Ele foi completado em 2006.

A Tabela 10 relaciona os padrões publicados pela ISO para RFID.

Tabela 10: Resumo das principais normas ISO.

Padrão ISO	Descrição
ISO 11.784	Identificação por radiofrequência de animais – Estrutura do código (Ano da publicação: 1996)
ISO 11.785	Identificação por radiofrequência de animais – Conceitos técnicos (Ano da publicação: 1996)
ISO/IEC 14.443	Identificação de cartões - sem contato com circuito (s) integrado (s) – Cartões de proximidade (Ano da publicação: 2000)
ISO/IEC 15.693	Identificação de cartões - sem contato com circuito (s) integrado (s) – Cartões de vizinhança (Ano da publicação: 2000)
ISO/IEC 18.001	Tecnologia da Informação (TI), Técnicas AIDC, RFID – Requisitos das aplicações (Ano da publicação: 2004)
ISO/IEC 18.000-1	Parâmetros genéricos de comunicação para interface aérea para frequências aceitas globalmente (Ano da publicação: 2004)
ISO/IEC 18.000-2	Parâmetros de comunicação para interface aérea com frequências abaixo de 135KHz (Ano da publicação: 2004)
ISO/IEC 18.000-3	Parâmetros de comunicação para interface aérea com frequências de 13,56KHz (Ano da publicação: 2004)
ISO/IEC 18.000-4	Parâmetros de comunicação para interface aérea com frequências de 2,45GHz (Ano da publicação: em processo de finalização)
ISO/IEC 18.000-6	Parâmetros de comunicação para interface aérea com frequências de 860-930MHZ (Ano da publicação: 2004)
ISO/IEC 15.961	RFID para controle de itens – Protocolo de dados: interface de aplicação (Ano da publicação: 2004)
ISO/IEC 15.962	RFID para controle de itens – Protocolo de dados: regras de codificação de dados e funções de memória lógica (Ano da publicação: 2004)
ISO/IEC 15.963	RFID para controle de itens – Protocolo: identificação única de TAG (Ano da publicação: em processo de finalização)

Fonte: Adaptado de - Understanding RFID (Passive RFID) –
http://www.gaorfidassettracking.com/RFID_Asset_Tracking_Resources/rfid_understanding/.

- **Brasil-ID**

Um acordo de cooperação técnica, firmado em 2009 entre o Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil, a Receita Federal e os Estados da União por intermédio de suas Secretarias de Fazenda, formalizou o início do Sistema de Identificação, Rastreamento e Autenticação de Mercadorias, nominado como “Brasil-ID”. Seu objetivo é atuar, principalmente, no emprego da tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) (com outras tecnologias acessórias, integradas), para realizar, dentro de um padrão único, a identificação, rastreamento e autenticação de mercadorias em produção e circulação pelo País.

Conforme publicou o Diário Oficial da União - D.O.U. (2013), um convênio entre o Brasil-ID e o Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ foi assinado. Este convênio teve a finalidade de desenvolver e implantar uma infraestrutura tecnológica para garantir a identificação, o rastreamento e a autenticação de mercadorias em circulação no país, com o intuito de padronizar, unificar, integrar, simplificar, desburocratizar e acelerar o processo de produção, logística e de fiscalização de mercadorias.

Segundo publicado pelo Brasil-ID (2013) no site <<http://www.brasil-id.org.br/index.php/home/sobre>>, para tornar efetiva a utilização de soluções da tecnologia RFID, de acordo com os requisitos propostos, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- “Racionalizar e agilizar, no âmbito do governo, os procedimentos de auditoria e fiscalização de tributos, mercadorias e prestação de serviços;
- Propiciar, no âmbito das empresas, redução significativa de custos e melhoria nos processos de produção, armazenagem, distribuição e logística;
- Propiciar, no âmbito do governo, maior controle da industrialização, comercialização, circulação de mercadorias e prestação de serviços, no intuito de reduzir significativamente a sonegação fiscal, o contrabando, o descaminho, a falsificação e furto de mercadorias no País, favorecendo, portanto, a um ambiente de concorrência leal;
- Criar um sistema nacional de gestão do Brasil-ID (Back-Office) que interaja e integre aos sistemas do governo e empresas que poderão demandar ou prover recursos próprios;
- Especificar, analisar, projetar, dimensionar e desenvolver softwares básicos de gestão nacional e centralizada de dados e transações do Brasil-ID a ser gerenciado pelo governo através de uma entidade designada para tal;
- Desenvolver soluções de integração de sistemas (middleware) que possibilitará incorporar, de forma automática, os diversos sistemas de informação que irão interagir com os sistemas do Brasil-ID, como, por exemplo, a interface de comunicação com os sistemas da Nota Fiscal Eletrônica. Além disso, o middleware também suportará comunicação padronizada para integração de todos os Leitores de RFID e

Sistemas de Comunicação associados que estarão distribuídos pelo território nacional;

- Especificar, projetar e implantar infraestrutura tecnológica para as Secretarias de Fazenda e Receita Federal para integração com o Brasil-ID;
- Especificar, projetar e desenvolver softwares especializados para a integração, gestão e geração de dados e controles inteligentes que garantam uma célere e eficaz fiscalização nos postos fiscais, comandos volantes e auditorias nas empresas a partir das interações ocorridas entre os sistemas estruturantes dos Estados e o Brasil-ID;
- Regulamentar para todo território nacional o uso da tecnologia RFID, visando atender as demandas do segmento de governo e empresarial;
- Desenvolver sistemas de informação com interface web com diferentes níveis de permissão para garantir acessos restritos a diferentes tipos de informações;
- Adquirir, desenvolver e implementar toda a infraestrutura tecnológica, para completa operacionalização do Brasil-ID, incluindo servidores, leitores de tags RFID, sensores e atuadores para os postos fiscais, dentre outros. "

Segundo o Brasil-ID (2013), o objetivo é desenvolver e promover segurança do comércio e circulação de mercadorias no país por meio de tecnologia confiável e padronizada, aprimorar a fiscalização de trânsito de mercadorias, de modo a possibilitar que o contribuinte utilize a tecnologia para seu próprio benefício logístico, com garantia de autenticidade e proteção contra a circulação de bens roubados.

4.5. Dificuldades na adoção dos sistemas de RFID

Conforme descreve Santini (2006, p. 38):

Um sistema *RFID* é um sistema computacional, que utiliza hardwares, softwares e um sistema de comunicação em rede sem contato, via ondas de rádio, portanto, deve ter segurança tal para proteger todos os elementos acima, bem como os dados que manipulam.

A garantia do funcionamento da tecnologia RFID com eficiência e segurança ainda enfrenta dificuldades que têm causado alguma resistência na sua expansão em alguns setores da indústria e do comércio. São desafios tecnológicos para superar problemas relacionados à integridade dos dados e à segurança das informações. A aceitação de padrões globais, domínio de patentes, desafios na infraestrutura, desafios relacionados ao custo e expectativas do retorno sobre investimentos, integração com sistemas empresariais e privacidade das pessoas são temas que se destacam nestes desafios (WU et al. 2005).

4.5.1. Desafios tecnológicos na RFID

O funcionamento da tecnologia RFID está sujeito a um grande número de fatores que prejudicam o seu desempenho. São interferências causadas: pelos materiais onde as TAG estão afixadas; barreiras físicas no ambiente em que operam; interferência entre componentes RFID e baixa potência das ondas eletromagnéticas em TAG UHF passiva. Estas interferências alteram a qualidade do sinal de radiofrequência, podendo trazer prejuízos ao seu funcionamento.

As ondas eletromagnéticas são absorvidas pela água e são refletidas pelo metal. Wu et al. (2005) explicam que TAG UHF aplicadas em produtos com alto percentual de água ou compostos por metal causam interferência e degradam o sinal, afetando a qualidade da recepção de dados. Devido às características eletromagnéticas, a energia propagada dos leitores de RFID não alcança produtos enlatados no meio de um palete de enlatados ou garrafas de água no centro de um palete de água engarrafada. Chappell et al. (2006) acrescentam que os sinais eletromagnéticos de Alta Frequência também sofrem alterações, quando as etiquetas são encobertas com gelo ou água.

Este desafio afeta a integridade dos dados e tem afastado desta tecnologia empresas em que produtos ou ambiente apresentem estas características.

Sarma et al. (2002) pontuam que outra forma de interferência prejudicial à integridade dos dados ocorre quando várias TAG são energizadas pelo leitor de

RFID e refletem sinais simultâneos, que podem colidir entre eles e causar falha na comunicação, prejudicando a recepção de dados transmitidos. Existe, também, interferência quando uma TAG está na zona de interrogação de dois ou mais leitores de RFID que atuam no mesmo ambiente, pois vários deles tentam se comunicar com a TAG, que, por sua vez, não consegue discriminar para qual leitor de RFID responder. Mesmo não havendo sobreposição das zonas de interrogação, os leitores também podem emitir sinais que se colidem, prejudicando a comunicação com as TAG.

Segundo Dobkin (2008), para minimizar a interferência do transmissor no receptor do equipamento leitor de RFID, várias antenas podem ser usadas. Enquanto algumas transmitem, outras recebem emissões. Este tipo de configuração de antenas do equipamento leitor de RFID é chamado de biestático.

Em outras aplicações, uma única antena pode ser utilizada, formando uma configuração monoestática, em que a mesma antena transmite e recebe sinais. Neste caso, o receptor deve tratar o sinal do transmissor ao qual ele será exposto. Esta configuração é utilizada em situações em que a aplicação requer menor custo.

Outra variação de configuração é o tipo multiestático, que é uma mistura das configurações mono e biestáticos. O tipo multiestático tem as suas antenas trabalhando em pares sendo que, durante um determinado intervalo de tempo, uma antena transmite e outra recebe. No intervalo de tempo seguinte, elas invertem sua função.

Chappell et al. (2006) escrevem que outra forma de interferência pode ocorrer pelo mau funcionamento das antenas dos leitores de RFID e das TAG. A principal causa é a posição incorreta da antena que afeta a recepção do sinal e prejudica a capacidade de leitura. Caso a antena da etiqueta esteja perpendicular à antena do leitor de RFID, a primeira não poderá receber os sinais da segunda. Somando-se a isso, se houver obstáculos entre duas antenas, o sinal de rádio será atenuado e então, o alcance de leitura poderá ser reduzido.

4.5.2. Desafios na segurança e na privacidade da informação

De acordo com os autores Garfinkel e Holtzman (2005), devido às características peculiares da tecnologia RFID, algumas vulnerabilidades que podem configurar ameaças são decorrentes de seu processo de funcionamento, principalmente nas TAG que possuem pouca energia para funcionar, pois limitam a implementação de medidas mais eficazes de segurança. Assim como qualquer sistema de comunicação sem fio, a tecnologia de identificação por radiofrequência está sujeita a falhas de segurança, já que as informações trafegam pelo ar, pois podem ser obstruídas por componentes estranhos ao processo, que, funcionando de forma não autorizada, podem copiar dados ou alterá-los, com o intuito de obter vantagens. Tais ocorrências afetam a integridade dos dados e diminuem a confiabilidade das informações.

Existem muitas preocupações em relação à invasão da privacidade das pessoas e dos negócios e muitas outras podem surgir com o crescimento da computação nos modelos da IoT, pela busca da interoperabilidade entre diferentes dispositivos e pela integração de sistemas. Devido ao seu potencial de miniaturização, componentes da tecnologia podem ser inseridos em partes ocultas de produtos, equipamentos, objetos e vestimenta, sem o consentimento do portador, com o intuito de realizar monitoramento.

Existe, também, a possibilidade de violação da integridade física de bens, uma vez que a TAG possui dados específicos do item ao qual será aplicada. Se for trocada ou aplicada em outro tipo de item, pode causar danos decorrentes da interpretação, conduzindo ao erro no monitoramento, registro de características e custo, levando a inevitável prejuízo.

4.5.3. Desafios na definição dos padrões

De acordo com os autores Dias E. M., et al. (2014) a vida moderna nos insere numa ampla gama de tecnologias onde existem grandes desafios para se superar, tais como as questões relacionadas à capacidade da rede de dados, utilização de

faixas de radiofrequências ainda inexploradas e questões relacionadas à segurança e privacidade onde sensores captam dados o tempo todo, tornando a comunicação uma “Torre de Babel” que precisa ser inteligível para todos.

A definição de padrões internacionais para sistemas de RFID e sua aceitação global garantiria a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes e forneceria a legibilidade que ampliaria a utilização da tecnologia por diversos setores, fazendo a demanda por componentes crescer, o que levaria a uma redução dos custos (WU et al. 2005).

Cada país possui uma entidade regulatória para o uso das faixas de frequência, incluindo a concessão de faixa, o nível de potência permitido em cada uma delas, tipo de modulação, etc. No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL – é o órgão responsável por regular o uso de radiofrequência.

O ambiente regulatório mundial na faixa de 860-960 MHz é muito complexo. Pode ser observado na Figura 28 que cada país fez escolhas diferentes de uso desta faixa para acomodar a operação da telefonia celular e outros serviços com aplicações importantes.

Figura 28 - Mapa da alocação mundial da banda UHF RFID.

Fonte: <http://assettrackit.com/worldwide-uhf-frequency-allocation-by-country/>

O Brasil utiliza as faixas de frequências entre 902-907,5 MHz e 915-928 MHz. Por outro lado, a banda de 2,4-2,45 GHz é disponível para operação sem licença em, praticamente, todo lugar, apesar de apresentar mais interferência por causa da sua utilização excessiva (GS1-US, 2009).

Apesar de esforços entre as duas maiores organizações que atuam na padronização, a EPCglobal e a ISO, um padrão unificado e interoperável globalmente ainda não evoluiu.

Para minimizar as diferenças de utilização das faixas de frequência, fornecedores que buscam alcançar mercados globais optam por aperfeiçoar os recursos da RFID para uma frequência central da banda de 910 MHz, enquanto outros desenvolvem dispositivos para atuar em todo o espectro, mas melhorados para funcionar apenas nos Estados Unidos e países da Europa.

4.5.4. Desafios devidos aos custos

Apesar do período de tempo em que a tecnologia vem sendo desenvolvida, desde a sua criação, os principais critérios de avaliação para sua adoção são, normalmente, as novas funcionalidades, traduzidas por benefícios, que introduz nas empresas e o aporte de investimentos.

O volume de investimentos é um grande inibidor para a implantação de soluções baseadas na tecnologia de RFID e pode não ser atraente para alguns setores. Os custos podem ser elevados em função da complexidade do negócio e dos requisitos que determinam o seu funcionamento. O preço final considera uma série de fatores, como o volume de unidades necessárias, o tipo de TAG (que pode ser mais complexa) e a forma em que será encapsulada ou afixada nos itens. Além do custo das TAG, há o custo de infraestrutura e das modificações que são necessárias nos sistemas de gestão das empresas. Nos custos da infraestrutura incluem-se os custos dos leitores de RFID que são determinados por necessidades específicas como, por exemplo, configuração de regras de funcionamento, capacidade interna de processamento e armazenamento, a integração com outros sistemas complementares que se conectam com ele para atuar na distribuição dos dados.

De acordo com as publicações no site do RFID Journal (<http://www.rfidjournal.com/faq/show?85>), a maioria das empresas que vendem as etiquetas RFID não citam preços porque ele é baseado na quantidade, no tamanho da memória e no tipo da embalagem em que ela será entregue (se ela está envolta em plástico ou embutida em uma etiqueta, por exemplo) e se a TAG é ativa ou passiva. De um modo geral, uma TAG ativa custa US\$ 25 ou mais. TAG ativas com caixa de proteção especial e bateria com vida extralonga, se incluem sensores podem custar US\$ 100,00 ou mais. Um EPC com embutimento passivo de 96 bits (chip e antena montada em uma carcaça) custa entre 7 e 15 centavos de dólar americano. Se a TAG é incorporada em uma etiqueta de transferência térmica em que as empresas podem imprimir um código de barras, o preço sobe para, pelo menos, 15 centavos de dólar. Etiquetas de alta frequência tendem a custar um pouco mais.

Os leitores RFID são normalmente comprados como parte de um sistema completo, com um lote de TAG e software de configuração do leitor e de mapeamento para determinar a localização das TAG. Leitores UHF podem custar entre US\$ 500 a US\$ 2.000, dependendo dos recursos do dispositivo. As empresas também podem ter que comprar cada antena em separado, juntamente com os cabos. Antenas custam em torno de US\$ 200 ou mais. O preço dos leitores UHF tem diminuído com a maior adoção da tecnologia pelo mercado. Um modelo de leitor de baixa frequência (uma placa de circuito que pode ser colocado em outro dispositivo) pode custar menos de US\$ 100, enquanto um leitor autônomo totalmente funcional pode custar US\$ 750. Módulos de leitura de alta frequência são tipicamente vendidos entre US\$ 200 a US\$ 300. Já um leitor autônomo pode custar cerca de US\$ 500.

Para Wu et al. (2005) há que se considerar, ainda, os custos relativos ao projeto de implementação da RFID, que é determinado pelo esforço necessário para planejar o sistema. Estes custos são ampliados em decorrência das customizações exigidas para seu funcionamento, dadas as características do negócio em que será aplicada. Os autores complementam que um sistema de RFID deve ser customizado para um ambiente de trabalho específico e de acordo com os propósitos da aplicação e da faixa de frequência licenciada.

4.5.5. Desafios quanto ao retorno dos investimentos

A avaliação do custo de implantação e funcionamento de sistemas RFID nas empresas deve ser precedida pela avaliação do retorno dos investimentos - ROI (*Return of Investments*), medida contábil que avalia o lucro operacional devido aos investimentos realizados. Deve comparar o valor do investimento a se realizar no sistema empresarial com projeções nos resultados operacionais após a implantação.

O valor dos resultados operacionais deve considerar: a redução prevista nos custos de logística; mão de obra; transportes; ganhos relativos a melhorias na produção; ampliação da qualidade de fabricação; melhorias nas estratégias de

gestão de estoques; ganhos de tempo em relação à entrega do produto final a clientes e ampliação do controle da cadeia de produção da empresa.

Quanto maior for o lucro operacional (ROI), mais recomendado será investir na tecnologia.

4.5.6. Desafios quanto à integração da RFID na organização

Um sistema de RFID é uma tecnologia automática de aquisição de dados. Após a aquisição dos dados, é preciso resolver a questão fundamental da sua aplicação, que é o aproveitamento dos dados adquiridos.

Previamente, há necessidade de uma visão executiva sobre o assunto para prever sua participação dentro do contexto da empresa, levando-se em conta as expectativas da sua aplicação em determinados processos. O sistema de RFID não é, na maioria das implementações, um sistema isolado na organização em que foi instalado, mas uma parte do sistema empresarial e deve contribuir para tornar processos mais eficientes, ampliando a gestão dos recursos disponíveis.

5. APLICAÇÃO DO MODELO E OBTENÇÃO DE RESULTADOS

Para estudar a solução proposta inicialmente, uma prova de conceito foi desenvolvida para verificar a aplicação da tecnologia de identificação por radiofrequência com TAG incorporadas em cartões inteligentes, semelhantes aos utilizados por passageiros de São Paulo para o pagamento da tarifa do transporte público coletivo. Os testes da prova de conceito também avaliaram o funcionamento da tecnologia RFID no ambiente do ônibus e investigaram se hábitos dos passageiros em manter guardados seus cartões inteligentes em bolsas, livros e bolsos da vestimenta poderiam impedir a leitura das TAG. Por fim, também foi verificado se há integração entre o equipamento de geolocalização do AVL do ônibus com o leitor de RFID, para troca de dados entre eles, de forma a fornecer informações precisas sobre os locais onde os passageiros embarcam e desembarcam.

O propósito da prova de conceito foi verificar se os dados gerados pela integração das tecnologias podem prover os recursos necessários para construir uma matriz Origem-Destino e outras informações que permitam identificar problemas que afetam os tempos a que são submetidos os usuários nos serviços do transporte.

Os experimentos foram acompanhados pela empresa gestora do transporte público da cidade de São Paulo, a São Paulo Transporte S.A. e contaram com a participação de empresas de tecnologia no desenvolvimento do projeto.

5.1. Metodologia

A metodologia foi baseada em testes práticos realizados em ambientes que simularam aqueles a que são expostos os usuários do transporte coletivo. Nos testes, buscaram-se as respostas para as questões sobre o funcionamento da tecnologia RFID e sobre a hipótese de que se, com os dados obtidos no seu funcionamento, seria possível construir informações cujo maior foco fosse o usuário, e não apenas a produção dos serviços.

Três etapas foram preparadas para responder as questões:

ETAPA 1 – verificar se os hábitos dos passageiros que embarcam nos ônibus, portando os cartões inteligentes (Bilhete Único), guardados em bolsas, no meio de livros, bolsos das calças e das camisas, impedem leituras dos EPC dos cartões equipados com componentes da tecnologia RFID;

ETAPA 2 - obter dados geográficos da localização dos eventos de embarques e desembarques de passageiros por meio da integração de dados entre o equipamento leitor de RFID e do GPS do AVL do ônibus e, a partir deles, identificar os locais onde tais eventos ocorreram;

ETAPA 3 – verificar se os dados produzidos pelas tecnologias permitem construir matrizes de O/D e fornecer indicadores de lotação nos ônibus, bem como informações sobre os tempos a que são submetidos os usuários nos seus deslocamentos.

Para realizar as etapas propostas, as seguintes fases de trabalho foram planejadas:

- a) Descrever uma lista de conceitos, regras e pressupostos que as etapas do teste deverão obedecer;
 - b) De acordo como as definições descritas no item anterior, estabelecer como deverão operar as tecnologias (processo teórico do funcionamento);
 - c) Preparar os equipamentos e demais recursos necessários para montar um ambiente de testes;
 - d) Verificar, por meio da simulação de embarques e desembarques nos ônibus, o funcionamento das tecnologias e obter os resultados dos testes.
- A - Lista de conceitos e regras:

Uma lista de termos, definições e regras foi desenvolvida, na qual se analisou cada ator componente dos testes, descrevendo e esclarecendo seus significados:

- a) BU (Bilhete Único): refere-se a um cartão inteligente individual equipado com TAG RFID;
- b) Evento do BU monitorado: qualquer identificação de um número EPC, escrito na memória da TAG, que é obtida por um equipamento leitor RFID;

-
- c) Evento confirmado: um evento que confirma um passageiro no ônibus, que é deslocado de um ponto a outro do itinerário. A leitura de um evento do BU monitorado pode registrar o BU de um usuário no PED, fora do ônibus e que não viajou nele, produzindo informações que provocam falsas interpretações. Um processo para confirmar que o passageiro está viajando no ônibus evita este erro. Um evento do BU monitorado é confirmado após o deslocamento do ônibus, quando mudam as coordenadas geográficas e o EPC da TAG no BU continua a ser registrado pelo sistema RFID no ônibus;
 - d) Evento gravado: refere-se ao registro de um EPC que deve ser armazenado pelo equipamento leitor RFID. O registro do evento contém dados referentes ao código eletrônico do produto, data, hora e valores geográficos de uma latitude e longitude. Um evento gravado equivale a um embarque ou desembarque de passageiro do ônibus;
 - e) Evento primário: é uma classificação que recebe o primeiro evento do BU monitorado, confirmado e gravado pelo sistema RFID. A classificação de evento primário, depois de atribuída, não pode ser mais alterada. O evento primário equivale ao embarque do usuário no início de sua viagem;
 - f) Evento intermediário: refere-se ao evento que não foi nem o primeiro registrado e nem o último. Depois de registrado um evento primário, as próximas leituras do EPC da TAG do BU servem para confirmar que o passageiro continua no ônibus. A cada nova leitura do EPC, o evento intermediário é classificado como evento secundário, substituindo o evento secundário anterior. O evento intermediário não é gravado pelo sistema RFID;
 - g) Evento secundário: é a classificação que recebe o evento mais novo do BU monitorado, que não seja o evento primário;
 - h) Voluntário: indivíduo que participa do teste, portando um BU e seguindo procedimentos pré-determinados. Simula um passageiro do ônibus;
 - i) Veículo: identificação do veículo pelo qual o passageiro realizou o deslocamento;

-
- j) Volta: é um número sequencial que identifica o ciclo de deslocamento do ônibus, de um ponto inicial até um ponto final. A cada novo ciclo, incrementa-se o número da volta (volta 1, volta 2, ..., volta n);
 - k) Deslocamento de um BU: refere-se a qualquer par sequencial entre eventos primários e secundários dentro de uma volta do ônibus, identificando uma origem e um destino;
 - l) Viagem do passageiro: refere-se ao movimento de um BU monitorado entre uma origem e um destino final da viagem do passageiro. Tem, como início, o primeiro evento primário registrado e termina com o último evento secundário registrado em uma sequência de deslocamentos do passageiro. Não considera os deslocamentos gravados do BU monitorado que representam as integrações, ou seja, deslocamentos entre desembarques e embarques intermediários que o passageiro realiza antes de atingir o destino final da viagem;
 - m) Embarque: evento que representa um embarque no início do deslocamento de um BU monitorado no ônibus. É sempre classificado como um evento primário;
 - n) Desembarque: evento que caracteriza um desembarque que finaliza um determinado deslocamento. É caracterizado pelo último evento secundário registrado, fato que ocorre após o passageiro descer do ônibus e a TAG de seu cartão inteligente sair do alcance de leitura do leitor RFID;
 - o) Passageiro no PED: pode produzir uma leitura do EPC que não é confirmada no interior do veículo, após o deslocamento dele, pois o passageiro permaneceu no PED sem embarcar no ônibus. Estes eventos são descartados;
 - p) Local do evento: refere-se ao registro de uma latitude e uma longitude fornecido por dispositivo GPS do ônibus, que forma uma coordenada geográfica e indica um local específico. O local do evento será associado ao registro do BU monitorado para relacionar, depois de gravado no sistema RFID, a um determinado local.

- B - Processo teórico de funcionamento das tecnologias:

A aplicação da tecnologia RFID para identificar os BU dos usuários e obter os locais onde ocorreram suas entradas e saídas nos ônibus precisa de algumas customizações impostas pelo funcionamento dos serviços no transporte público, pois o sistema coletará expressiva quantidade de dados dos BU monitorados, inclusive, muitos que não são de interesse do projeto.

Um processo para coletar dados e identificar os eventos que são importantes foi desenvolvido e seguiu as seguintes funções:

1 – Filtragem de EPC (Código Eletrônico)

Na operação de uma linha, o ônibus estaciona no PED e abre as portas para que o passageiro possa embarcar e/ou desembarcar. O passageiro sobe para o ônibus e passa pelo campo de interrogação das antenas do sistema RFID instalado próximo às portas de entrada. Neste momento, o leitor de RFID se comunica com o BU do usuário que, por sua vez, transmite um código eletrônico que o identifica. Durante o período de tempo em que o passageiro permanecer no campo de atuação das antenas e o sistema RFID continuar ativo, coletará dezenas de vezes o mesmo código eletrônico e produzirá um grande volume de dados do mesmo passageiro.

Isto também ocorrerá na área do ônibus próxima à saída dos passageiros. As antenas traseiras, localizadas na área do desembarque que fica próxima às portas de saída do ônibus, coletarão dezenas de eventos.

Para reduzir o volume de dados e armazenar apenas eventos relevantes, o funcionamento do sistema RFID foi customizado para funcionar apenas enquanto o ônibus abrir qualquer porta (de entrada e/ou saída dos passageiros). O sistema permanecerá ativo durante o tempo em que as portas permanecerem abertas e tornar-se-á inativo com o seu fechamento. Este procedimento reduz, significativamente, a quantidade de eventos dos

BU monitorados, bem como o esforço de processamento dentro do equipamento leitor, para confirmar e registrar eventos.

2 – Requisitar dados do AVL e associá-los ao registro do EPC

Ao receber um identificador EPC, o sistema RFID solicitará ao AVL do ônibus informação complementar para incluir no registro de dados daquele EPC.

A cada evento de um BU monitorado, serão solicitados ao AVL do ônibus os valores da longitude e da latitude atuais, que serão integrados ao registro do BU monitorado, com dados da data e hora da ocorrência, compondo, assim, um registro completo do evento no sistema RFID.

3 – Filtrar os eventos que deve armazenar

O objetivo da coleta de dados recai somente sobre os dados relativos ao primeiro e último registro do EPC, que contêm, simultaneamente, um evento primário e um evento secundário. Os eventos intermediários, coletados entre eles, servirão para o propósito de, apenas, confirmar que um passageiro viajou no ônibus enquanto houve deslocamento do veículo. Após esta confirmação, eventos secundários mais antigos serão substituídos.

Esta filtragem também resolve os casos de reconhecimento das TAG dos BU dos passageiros que estão próximos à área de desembarque, mas, efetivamente, não desembarcam do ônibus. Eles apenas estão na região de alcance das leituras das antenas, mas permanecem no ônibus, seguindo viagem. Com este processo, cada BU terá apenas dois registros gravados no sistema; um evento primário e um evento secundário.

A Figura 29 apresenta um fluxograma que demonstra o processo de identificação, confirmação e descarte do EPC no sistema RFID.

Figura 29 – Fluxograma do processo de identificação, confirmação e descarte do EPC.

Fonte: Autor.

A cada evento de BU monitorado, classificado como primário ou secundário, um contador interno do sistema RFID é incrementado e, posteriormente, decrementado, quando o BU deixar de ser reconhecido pelas antenas instaladas na área do desembarque de passageiros do ônibus. O valor resultante do contador refere-se à quantidade de passageiros que estão embarcados no ônibus e corresponde à sua lotação de passageiros entre PED consecutivos (atual e anterior). A Equação abaixo exemplifica o cálculo da lotação atual dos ônibus:

$$Lotação\ atual = [(Lotação\ atual + Embarques) - Desembarques]$$

- C - Infraestrutura e recursos para realizar os testes:

Nesta fase do trabalho, três estágios de desenvolvimento foram planejados para obter uma infraestrutura com recursos necessários para a execução dos experimentos do teste da prova de conceito. Tais estágios consistiam no trabalho de:

1. Instalar equipamentos da tecnologia RFID no ônibus;
2. Equipar cartões inteligentes, similares aos BU, com TAG para que possam ser reconhecidas por equipamentos leitores de RFID;
3. Utilizar um programa de computador cuja interface permita verificar, em tempo real, os registros dos eventos.

Estágio 1 – Instalar equipamentos da tecnologia RFID no ônibus:

A Etapa 1 dos testes foi realizada em um ônibus, cedido por uma empresa operadora do serviço público, para instalação dos equipamentos e realização dos testes, com a seguinte configuração:

- Ônibus equipado com AVL;
- Leitor de RFID UHF;
- Duas antenas com polarização circular, potência de +30dBm e ganho de 6dB;
- Veículo parado, sem necessidade de deslocamento.

No ônibus, duas antenas deverão ser fixadas nos balaústres próximos à porta por onde ocorrem os fluxos de passageiros quando sobem para o ônibus. As antenas foram desalinhadas, uma em relação à outra, em 20 centímetros, para reduzir interferências nas requisições das antenas feitas às TAG. Do ponto de vista de quem embarca no ônibus, a antena posicionada à esquerda, chamada de antena "A", fixada a 1,20 metros do piso do ônibus, enquanto a da direita, chamada de antena "B", fixada a 1,00 metro. Ambas antenas posicionadas com face principal orientada para a área do fluxo do embarque. Na Figura 30 é demonstrada a posição das antenas após sua instalação.

Figura 30 – Fotografias do ônibus com equipamentos da tecnologia RFID demonstrando a posição das antenas.

Fonte: Autor.

A Etapa 2, que também teve um ônibus cedido por uma empresa operadora do transporte, foi realizada posteriormente com a seguinte configuração:

- Ônibus equipado com AVL, sem validador e catraca;
- Leitor de RFID UHF;
- Quatro antenas com polarização circular, potência de +30dBm e ganho de 6dB;
- Integração entre o AVL do ônibus e o leitor RFID UHF por meio de porta CAN BUS;

- Área para o veículo circular, simulando um itinerário.

Material utilizado:

- Quatro antenas com polarização circular;
- Leitor de RFID UHF;
- Cabos de conexão das antenas e o equipamento leitor de RFID;
- Cabos de alimentação para o equipamento leitor de RFID (a ser conectado na bateria do veículo ou em um cabo de força 127V / 60Hz);
- Notebook;
- Cabos de conexão entre equipamento leitor RFID e o notebook;
- Cabos de conexão entre equipamento leitor de RFID e equipamento AVL;
- Cabos de conexão entre AVL e o notebook;
- Amarrilhos de fixação para posicionar antenas no interior do veículo;
- 20 (vinte) cartões inteligentes + TAG RFID numerados e com UID gravados na memória EPC;
- Planilha de controle manual da eficácia do teste, com registros de todas as entradas e saídas dos voluntários, bem como para registro dos voluntários que permanecem nos PED;
- Prancheta para descrever observações.

De modo similar ao teste da Etapa 1, duas antenas foram montadas na área próxima à porta dianteira do ônibus, por onde ocorrem os embarques de passageiros. Adicionalmente, outras duas antenas foram instaladas próximas à porta traseira, por onde ocorrem os desembarques.

Especificamente para a Etapa 2 do teste, um equipamento leitor de RFID UHF foi desenvolvido como protótipo. Além das funcionalidades básicas para reconhecer, energizar, transportar dados das TAG e controlar antenas, o leitor de RFID recebeu um hardware possuindo microprocessador e unidade de memória adicional, ambos gerenciados por um sistema operacional Linux, capaz de processar dados, dispensando a utilização de *middleware* externo ao corpo do equipamento leitor.

Esta capacidade permitiu programar as regras de filtragem para eliminar registros desnecessários. Na Figura 31 é apresentada uma fotografia do leitor de RFID desenvolvido:

Figura 31 – Fotografia do equipamento protótipo de leitor de RFID.

Fonte: Autor.

No equipamento, quatro antenas foram conectadas para comunicar com as TAG.

Estágio 2 – Equipar cartões inteligentes, similares aos BU, com TAG, para que possam ser reconhecidos por equipamentos leitores de RFID:

Neste estágio, avaliou-se a convivência entre as tecnologias de radiofrequência (RF), próprias do cartão inteligente “Bilhete Único” (NXP MIFARE® *Classic*) e a tecnologia de RFID. Para fundamentar os estudos, a Sptrans convidou representantes da empresa detentora da atual tecnologia de funcionamento do cartão inteligente utilizado na cidade de São Paulo e outras empresas que desenvolvem equipamentos eletrônicos, para colaborar no desenvolvimento dos testes.

A proposta é que o microchip da TAG (sistema *N-bits transponder, Read Only*), ao ser inicializado, receba em sua memória um número sequencial exclusivo (EPC) que será associado à identificação lógica do BU. No momento em que a TAG contida no cartão for energizada, deve fornecer o identificador EPC como informação. Para garantir a privacidade do portador do cartão inteligente, os dados coletados do cartão, apesar de identificá-lo, não permitem acesso ao User ID (identificação do usuário), impossibilitando qualquer consulta ou associação aos dados cadastrados na Sptrans, com informações pessoais como endereço, telefone, nome, número de documentos, etc.

A Figura 32 mostra tanto o modelo da estrutura física do cartão inteligente atualmente em uso na cidade de São Paulo quanto o protótipo de teste, incluindo os componentes RFID.

Figura 32 - Modelo da estrutura física de um cartão inteligente BU e modelo do cartão inteligente híbrido.

O atual modelo em uso do cartão inteligente na cidade de São Paulo tem operação do tipo sem contato (*contactless*) e possui um chip que se comunica através de antenas com taxas de transmissão de 106 a 848 Kb/s e tempo de transação abaixo de 100 milésimos de segundos. Tais cartões exigem, somente, proximidade a uma antena para a transação de dados. A norma ISO para a tecnologia é a ISO/IEC 14443 que define a comunicação a distâncias de, até, 10 centímetros. De acordo com a empresa detentora da tecnologia de funcionamento do cartão, apesar da proposta para reduzir as dimensões da antena RF dos cartões inteligentes para adicionar a nova antena RFID, este modelo de inovação tecnológica não interferirá no funcionamento da tecnologia já consagrada para realizar transações eletrônicas do pagamento de tarifa do transporte público. Estima que reduzirá, em média, cerca de dois milímetros a distância de aproximação do cartão a uma antena de um validador, sem impacto no tempo efetivo da transação.

Exclusivamente para este projeto, apresentou um protótipo de TAG com um novo desenho que promete maior performance de leitura em ambientes próximos ao corpo humano. A Figura 33 demonstra um protótipo da TAG projetada para a Etapa 2 de testes na Sptrans.

Figura 33 – Fotografia da TAG-RFID protótipo desenvolvido exclusivamente para o teste na Sptrans.

Fonte: Sptrans e NXP Semiconductors (2014).

A nova TAG passou por testes comparativos com outras TAG de mercado para validar a sua superioridade com relação à maior sensibilidade de leitura. Após os testes, decorrente dos resultados que revelaram melhor performance, a empresa detentora da tecnologia providenciou um lote de cartões equipados com a nova TAG para os testes dentro dos ônibus.

Os cartões possuem as seguintes características:

- Chip EEPROM de 2 ou 4 Kbytes;
- Estrutura fixa para memória compatível com as séries dos cartões NXP MIFARE Classic de 1k e 4k;
- Estrutura de memória (setores, blocos, etc.) do modelo MIFARE 4k;
- Capacidade de 4 ou 7 bytes para geração de número único;
- Autenticação multissetorial;
- Capacidade de leitura multibloco;
- Função anti-desgaste para escrever chaves AES;
- Armazenamento de chaves como MIFARE *Classic* (2 x 48 bits por setor) ou chaves AES (2 x 128 bits por setor);
- Acesso livre para configuração e reconfiguração;
- Número de operações de gravação individual: 200.000.

O microchip da TAG que foi utilizada como protótipo no projeto é de desenvolvimento recente no mercado, com alta performance para ultra-alta frequência (UHF). Segundo a NXP Semiconductors (2013), o microchip UCODE7 promete, além de aumentar ainda mais o desempenho do leitor de RFID, também aumentar a velocidade de gravação. Esta melhoria deve-se à maior sensibilidade do microchip para ser energizado e maior capacidade para ler e escrever dados em etiquetas EPC UHF; ou seja, requer menos energia para ser lido ou codificado do que os chips de versões anteriores.

Por possuir maior resistência *backscatter*, a TAG apresenta melhor desempenho de leitura e maior velocidade de escrita pelo microchip, com possibilidade de codificação paralela. Esta característica permite dar agilidade à

codificação de múltiplas TAG. Possui, também, ampla largura de banda (entre 840-960 MHz), permitindo maior compatibilidade com mercados globais.

Enquanto seu antecessor (chip de G2iL da NXP) pode ser lido ao receber um baixo sinal de leitura, em cerca de -17 dBm, o UCODE7 pode ser lido se o sinal recebido for de, apenas, -21 dBm. Segundo a NXP Semiconductors (2013), a maioria das etiquetas UHF do mercado oferece sensibilidade entre -14 dBm e -18 dBm. A sensibilidade da escrita com o novo chip aumentou de -8 dBm com o G2iL para -16 dBm com o UCODE7. O chip mede 445 micra por 490 micra (0,018 polegada) e vem com 128 bits de memória.

Seguindo estes padrões, a empresa parceira da Sptrans no desenvolvimento dos testes produziu um lote com 20 cartões inteligentes. Para facilitar o reconhecimento visual do cartão, cada um foi identificado com informações escritas em uma etiqueta autoadesiva fixada na sua parte externa. A etiqueta contém um número sequencial de controle, uma sequência de caracteres impresso de forma destacada contendo os oito dígitos finais do EPC e, por fim, o número EPC. A Figura 34 apresenta a imagem desses cartões.

Figura 34 – Fotografia dos cartões inteligentes produzidos com TAG RFID e utilizados nos testes.

Fonte: Sptrans.

Estágio 3 - Utilizar um programa de computador cuja interface permita verificar, em tempo real, os BU monitorados.

Na etapa 1 dos testes, após a instalação dos dispositivos da tecnologia RFID no ônibus, um notebook foi conectado ao leitor de RFID. No notebook foi instalado o software ID ISOStart 2012 para permitir visualizar e medir o reconhecimento das TAG. A Figura 35 demonstra a interface desse software.

Figura 35 – Imagem da interface do usuário do programa ID ISOStart 2012

Fonte: FEIG Electronic.

Para a Etapa 2 dos testes, foi desenvolvido um programa de computador específico, para interagir com o *middleware* dentro do corpo do equipamento leitor de RFID, provendo controle de algumas de suas funções e fornecendo uma interface gráfica para acompanhamento dos testes em tempo real. O programa preparou um

contador para medir a quantidade de TAG reconhecidas e aferir a quantidade de usuários dentro dos ônibus. A Figura 36 apresenta a interface do software desenvolvido e suas funções.

Figura 36 – Imagem da interface do usuário do aplicativo Contador de Eventos RFID.

Fonte: Autor.

As funções do programa oferecidas na interface do usuário podem ser descritas da seguinte forma:

- [01] – Controle da porta traseira: com um clique do ponteiro do mouse a porta pode ser controlada, mudando seu status de fechada para aberta e vice-versa.
- [02] – Controle da porta dianteira: com um clique do ponteiro do mouse a porta pode ser controlada, mudando seu status de fechada para aberta e vice-versa.

-
- [03] – Contador de BU monitorados: realiza contagem de todos os eventos de BU monitorados.
 - [04] – Contador de eventos confirmados no ônibus: o programa verifica se houve mudança na localização geográfica do ônibus (que indica seu deslocamento) e se os EPC armazenados possuem novos eventos secundários. Os eventos com EPC confirmados são somados e o valor total é exibido na interface do usuário. Este número representa a quantidade de passageiros no interior do ônibus durante o último deslocamento entre PED.
 - [05] – Controle de potência das antenas dianteiras: por meio de cliques com o ponteiro do mouse posicionado sobre o botão correspondente, pode-se alterar a potência das antenas dianteiras.
 - [06] - Controle de potência das antenas traseiras: por meio de cliques com o ponteiro do mouse posicionado sobre o botão correspondente, pode-se alterar a potência das antenas traseiras.
 - [07] – Velocidade: este botão simula a movimentação do ônibus, alterando as coordenadas geográficas de longitudes e latitudes. É utilizado nos testes de laboratório. Nos testes dentro do ônibus, foi configurado para forçar as requisições de longitudes e latitudes ao AVL.
 - [08] – Requisição de data e hora: quando o botão é acionado, registra dados de data e hora atual.
 - [09] – Tempo de teste: contador de tempo em que o teste perdura até que haja o acionamento do botão: [11 – Final de trajeto].
 - [10] – Data: exibe a data requisitada pela função: [08 – Requisição de data e hora].
 - [11] – Final de trajeto: botão que, ao ser acionado, finaliza a seção atual de eventos e reinicia os contadores do programa.
-
- D - Procedimentos experimentais e resultados:

Durante o desenvolvimento da proposta foram identificadas algumas questões sobre a viabilidade no reconhecimento das TAG nos cartões inteligentes. A questão

principal era sobre a eficiência das ondas eletromagnéticas para leitura das etiquetas, uma vez que o ambiente do ônibus é composto por várias partes metálicas e o seu espaço interno é ocupado por grande quantidade de pessoas, cuja composição do corpo é predominantemente líquida. Estes fatores, componentes do meio ambiente, poderiam representar restrição ao alcance das ondas eletromagnéticas e comprometer a eficiência na recuperação dos EPC das TAG.

Ao contrário dos produtos dispostos em uma linha de produção e que respeitam determinada organização de empilhamento ou arranjo, pessoas apresentam comportamento aleatório, próprio e independente, variando constantemente sua posição e velocidade de deslocamento. A estas condições, alia-se o fato complicador de que a TAG não fica exposta, como na face externa de caixa de um produto, pois o usuário, comumente, mantém o seu BU protegido (oculto) até o momento em que o aproxima de um validador para o pagamento de tarifa.

Para verificar o funcionamento da tecnologia de radiofrequência nestas condições, foi executada a Etapa 1 (um) dos testes com o propósito de averiguar se o hábito do usuário do transporte público, que muitas vezes transporta seu BU em bolsas, no meio de livros, carteiras e bolsos do vestuário, impede leituras do EPC.

- Etapa 1:

Como o objetivo do teste foi apenas investigar a eficiência na leitura das etiquetas, os experimentos desta etapa foram executados com um veículo parado, dentro do pátio de uma garagem de ônibus. Adicionalmente, o mesmo experimento, também foi utilizado para selecionar a TAG que obtivesse melhor performance na transferência de informações para um leitor de RFID.

Com estes propósitos, quatro tipos diferentes de TAG foram verificados: três deles de uso comercial (AD235; UECODE7 AD370 e SIRIT RSI654), utilizados em cadeias de produção na identificação de objetos e um quarto tipo (UECODE7 PROTO), produzido como protótipo especificamente para este teste.

Nesta etapa, as antenas com polarização circular foram calibradas com +30dbm de potência.

Houve a participação de cinco voluntários, cada um portando uma TAG que foi escondida em um objeto ou partes da vestimenta. Inicialmente, posicionavam-se a uma distância de 3 metros no lado externo do ônibus e, um após o outro, caminhavam até a porta dianteira, embarcavam passando entre as antenas, dirigiam-se até o validador do ônibus e depois desembarcavam. O procedimento foi repetido até que os quatro tipos diferentes de TAG fossem utilizados pelos cinco participantes. Na Figura 37 é apresentado um fluxograma onde se demonstram os processos utilizados pelos voluntários, repetidos até que todas as TAG fossem experimentadas:

Figura 37 – Fluxograma do processo de teste utilizado por voluntários no experimento RFID.

Fonte: Autor.

Os procedimentos foram realizados com três cenários diferentes de posicionamento das antenas.

- **Cenário 1:**

No primeiro cenário, duas antenas foram posicionadas próximas à área de embarque dos passageiros e ambas coletavam dados simultaneamente. No cenário número dois, apenas uma antena foi habilitada para funcionar e, no cenário número três, uma antena foi reposicionada no *cockpit* do motorista, de frente para a área de embarque dos passageiros. Nas Tabelas 11, 12, 13 e 14 a seguir, estão demonstrados os resultados dos experimentos de cada tipo de TAG no cenário 1.

Tabela 11: Resultados do teste de leituras das TAG RFID AD235 - Cenário 1.

TAG: UECODE7 AD235

VOLUNTÁRIO	5 DÍGITOS FINAIS DO EPC	FORMA DE PORTAR A TAG	QUANTIDADE DE LEITURAS	TEMPO (em segundos)	Segundos entre leituras	ANTENA (que coletou dado)	OBSERVAÇÃO
1	22201	Bolso da camisa.	9	15	1,6667	Ambas	-
2	22202	Bolso esquerdo frontal da calça.	6	15	2,5000	Ambas	-
3	22203	Carteira de couro dentro de uma bolsa de material plástico.	6	22	3,6667	Ambas	-
4	22204	Bolso da camisa, celular na frente.	2	15	7,5000	Uma	Antena B.
5	22205	Bolso esquerdo traseiro da calça.	5	13	2,6000	Ambas	Somente 1 leitura na antena B.
TOTAL			28	80	3,5867		

* Duas antenas, + 30dBm. Antena "A" próxima ao para-brisa dianteiro do ônibus. Antena "B" na entrada do salão do ônibus.

Fonte: Sptrans

Tabela 12: Resultados do teste de leituras das TAG RFID AD370 - Cenário 1.

TAG: UECODE7 AD370

VOLUNTÁRIO	5 DÍGITOS FINAIS DO EPC	FORMA DE PORTAR A TAG	QUANTIDADE DE LEITURAS	TEMPO (em segundos)	Segundos entre leituras	ANTENA (que coletou dado)	OBSERVAÇÃO
1	33301	Bolso da camisa.	4	2	0,5000	Ambas	Somente 1 leitura na antena A
2	33302	Bolso esquerdo frontal da calça.	2	1	0,5000	Ambas	Somente entrando no ônibus
3	33303	Carteira de couro dentro de uma bolsa de material plástico.	2	15	7,5000	Ambas	-
4	33304	Bolso da camisa, celular na frente.	0	0	0,0000	Nenhuma	Nenhum registro
5	33305	Bolso esquerdo traseiro da calça.	6	12	2,0000	Ambas	Somente 1 leitura entrando no ônibus
TOTAL			14	30	2,6250		

* Duas antenas, + 30dBm. Antena "A" próxima ao para-brisa dianteiro do ônibus. Antena "B" na entrada do salão do ônibus.

Fonte: Sptrans

Tabela 13: Resultados do teste de leituras das TAG RFID SIRIT RSI654 - Cenário 1.

TAG: SIRIT - RSI654

VOLUNTÁRIO	5 DÍGITOS FINAIS DO EPC	FORMA DE PORTAR A TAG	QUANTIDADE DE LEITURAS	TEMPO (em segundos)	Segundos entre leituras	ANTENA (que coletou dado)	OBSERVAÇÃO
1	55501	Bolso da camisa.	8	16	2,0000	Ambas	-
2	55502	Bolso esquerdo frontal da calça.	7	13	1,8571	Ambas	-
3	55503	Carteira de couro dentro de uma bolsa de material plástico.	14	16	1,1429	Ambas	-
4	55504	Bolso da camisa, celular na frente.	7	15	2,1429	Uma	-
5	55505	Bolso esquerdo traseiro da calça.	3	11	3,6667	Ambas	Somente 1 leitura na antena B
TOTAL			39	71	2,1619		

* Duas antenas, + 30dBm. Antena "A" próxima ao para-brisa dianteiro do ônibus. Antena "B" na entrada do salão do ônibus.

Fonte: Sptrans.

Tabela 14: Resultados do teste de leituras das TAG RFID PROTO - Cenário 1.

TAG: UCODE7 PROTO

VOLUNTÁRIO	5 DÍGITOS FINAIS DO EPC	FORMA DE PORTAR A TAG	QUANTIDADE DE LEITURAS	TEMPO (em segundos)	Segundos entre leituras	ANTENA (que coletou dado)	OBSERVAÇÃO
1	77701	Bolso da camisa.	11	15	1,3636	Ambas	-
2	77702	Bolso esquerdo frontal da calça.	8	13	1,6250	Ambas	-
3	77703	Carteira de couro dentro de uma bolsa de material plástico.	14	16	1,1429	Ambas	Leituras a 5 metros fora do ônibus
4	77704	Bolso da camisa, celular na frente.	5	3	0,6000	Uma	Somente entrando no ônibus
5	77705	Bolso esquerdo traseiro da calça.	9	11	1,2222	Ambas	6 leituras saindo do ônibus
TOTAL			47	58	1,1907		

* Duas antenas, + 30dBm. Antena "A" próxima ao para-brisa dianteiro do ônibus. Antena "B" na entrada do salão do ônibus.

Fonte: Sptrans.

As maiores dificuldades encontradas para o reconhecimento das TAG no ônibus foram observadas quando os voluntários portavam as etiquetas nos bolsos traseiros das calças, pois a orientação das faces frontais das antenas de frente para a porta por onde embarcaram os voluntários, dificultou o reconhecimento das TAG.

Os *smartphones*, devido a sua composição e funcionamento, também impediram leituras de TAG quando portadas atrás deles.

Nos demais casos, as TAG foram reconhecidas com bons resultados de leituras dos EPC. Na Tabela 15, uma comparação dos resultados entre as TAG avaliadas é apresentada.

Tabela 15: Medidas de comparação entre os resultados das TAG.

TAG	LEITURAS (L)	TEMPO (T)	T/L	TEMPO PARA 10 LEITURAS	QUANTIDADE DE LEITURAS EM 10 SEG.
AD235	28	80	3,6	28,6	3,500
AD370	14	30	2,6	21,4	4,667
RSI654	39	71	2,2	18,2	5,493
PROTO	47	58	1,2	12,3	8,103

Tempo em segundos

Fonte: Autor.

Os melhores resultados foram alcançados pelas TAG RFID PROTO (protótipo), que foram 46% mais rápidas para transmitir dados aos leitores de RFID e transmitiram 74% mais identificadores do que a média das outras três TAG avaliadas. Decorrente destes resultados, a TAG UECODE7-PROTO passou a ser exclusiva para os próximos experimentos dos testes.

- **Cenário 2:**

No segundo cenário de teste, a antena "B" foi retirada do ambiente do ônibus. A antena que permaneceu em funcionamento manteve a mesma posição e potência

que havia sido utilizada no cenário anterior. A Figura 38 demonstra a disposição da antena "A", que permaneceu.

Figura 38 – Fotografia da antena "A" no ônibus demonstrando sua posição.

Fonte: Sptrans.

O procedimento utilizado pelos voluntários no cenário anterior foi mantido e repetido nesta etapa, mas utilizando apenas a TAG UECODE7-PROTO. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 16, a seguir.

Tabela 16: Resultados das leituras das TAG RFID – Cenário 2.**Teste RFID no ônibus para reconhecimento de TAG - Cenário 2***

TAG: UECODE7 PROTO Antena A

VOLUNTÁRIO	5 DÍGITOS FINAIS DO EPC	FORMA DE PORTAR A TAG	QUANTIDADE DE LEITURAS	TEMPO (em segundos)	Segundos entre leituras	OBSERVAÇÃO
1	77701	Bolso da camisa.	4	15	3,7500	-
2	77702	Bolso esquerdo frontal da calça.	8	16	2,0000	Leituras a 3 metros fora do ônibus.
3	77703	Carteira de couro dentro de uma bolsa de material plástico.	9	15	1,6667	-
4	77704	Bolso da camisa, celular na frente.	6	19	3,1667	-
5	77705	Bolso esquerdo traseiro da calça.	6	11	1,8333	-
TOTAL			33	76	2,4833	

* Uma antena, + 30dBm. Antena "A" próxima ao para-brisa dianteiro do ônibus.

Fonte: Sptrans.

Quando comparados os resultados obtidos no cenário de teste 2 com os resultados obtidos no cenário 1, considerando apenas a TAG UECODE7 PROTO, o tempo total utilizado para que o sistema RFID registrasse dados foi 87% maior e a quantidade de leituras foi 46% menor do que as do cenário anterior, que utilizou duas antenas em coleta simultânea de dados.

- **Cenário 3:**

No terceiro cenário de teste, a antena "A" foi reposicionada, instalada na parte superior do *cockpit* do motorista e com sua face frontal com irradiação voltada para a porta de entrada dos passageiros. A Figura 39 demonstra a disposição da antena.

Figura 39 – Fotografias do *cockpit* do motorista demonstrando o local do reposicionamento da antena "A" para a posição frontal.

Fonte: Sptrans.

Da mesma forma, o procedimento utilizado pelos voluntários foi mantido e repetido nesta etapa. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 17, a seguir.

Tabela 17: Resultados das leituras das TAG RFID – Cenário 3.**Teste RFID no ônibus para reconhecimento de TAG - Cenário 3***

TAG: UECODE7 PROTO

VOLUNTÁRIO	5 DÍGITOS FINAIS DO EPC	FORMA DE PORTAR A TAG	QUANTIDADE DE LEITURAS	TEMPO (em segundos)	Segundos entre leituras	OBSERVAÇÃO
1	77701	Bolso da camisa.	10	19	1,9000	-
2	77702	Bolso esquerdo frontal da calça.	7	13	1,8571	-
3	77703	Carteira de couro dentro de uma bolsa de material plástico.	12	22	1,8333	-
4	77704	Bolso da camisa, celular na frente.	6	19	3,1667	-
5	77705	Bolso esquerdo traseiro da calça.	4	10	2,5000	Somente 1 leitura subindo no ônibus.
TOTAL			39	83	2,2514	

* Uma antena, + 30dBm. Antena "A" posicionada acima do *cockpit* do motorista.**Fonte: Sptrans.**

Quando comparados os resultados obtidos no cenário de teste 3 com os resultados do mesmo tipo de TAG do cenário 1, o tempo total utilizado para transmitir dados foi 72% maior e a quantidade de leituras foi 42% menor.

Diante dos resultados obtidos nos três cenários do teste realizado, concluiu-se:

- A TAG UCODE7-Proto mostrou-se a mais adequada ao projeto da Sptrans e foi escolhida, dentre as demais, para ser inserida nos cartões inteligentes que foram protótipos nas etapas seguintes dos testes;
- É necessário o uso de duas antenas por porta do ônibus, porque aumenta a eficiência na leitura de dados das TAG;
- A posição das antenas será em torno da área interna do ônibus por onde ocorrem os fluxos do embarque (ou desembarque) de passageiros.

Finalizados os experimentos da Etapa 1, iniciou-se a preparação da Etapa 2, com o propósito de verificar a obtenção de coordenadas geográficas, por meio da integração do sistema RFID, com o GPS do equipamento AVL do ônibus.

- Etapa 2:

Nesta etapa, houve a participação de 15 voluntários, cada um portando um cartão inteligente híbrido, equipado com uma TAG RFID Protótipo.

Todos os voluntários que participaram desta etapa do experimento foram identificados por um número impresso em uma etiqueta autoadesiva, afixada na vestimenta. Este número foi associado ao número EPC do cartão e registrado numa planilha de controle para acompanhamento manual. O voluntário ficou livre para portar o cartão inteligente onde fosse de sua conveniência: nos bolsos da vestimenta, dentro de carteiras, sacolas ou na mão.

No PED, posicionavam-se entre três e quatro metros no lado externo do ônibus e, um após o outro, caminhavam até a porta dianteira e embarcavam, passando entre as antenas. Da mesma forma, quando solicitados, desembarcavam pela porta traseira, passando entre as antenas instaladas naquela área.

Para obter as coordenadas geográficas dos eventos de embarque e desembarque dos voluntários, o teste foi realizado com um veículo em movimento dentro de uma garagem de ônibus. Dentro da garagem, foram designados cinco locais para representar os PED e estabelecida uma rota para que o ônibus atendesse, sequencialmente, a todos estes locais. Na Figura 40 é demonstrada uma imagem com a localização dos PED e a rota realizada pelo ônibus.

Figura 40 – Imagem aérea da garagem demonstrando os PED e roteiro do ônibus para realizar os testes

Fonte: Customizada de: <https://www.google.com.br/maps/search/-46,608374/@-23.4909017,-46.5616472,491m/data=!3m2!1e3!4b1?hl=pt-BR>

Os voluntários foram distribuídos dentro da garagem em locais identificados como PED (Pontos de Embarque e Desembarque) da seguinte forma:

- No PED um (1) ficaram, inicialmente, os voluntários 1, 2 e 3;
- No PED dois (2) ficaram, inicialmente, os voluntários 4, 5, 6 e 7;
- No PED três (3) ficaram, inicialmente, os voluntários 8, 9, 10 e 11;
- No PED quatro (4) ficaram, inicialmente, os voluntários 12, 13, 14 e 15;
- No PED cinco (5) não ficou nenhum voluntário.

O teste consistiu em deslocar o ônibus pelo itinerário para atender aos cinco PED em sete voltas seguidas, registrando-se os EPC, data, hora e coordenada GPS, durante entrada e saída dos voluntários do ônibus. Na Figura 41 é demonstrado o fluxograma do processo de contagem de passageiros que foi executado no teste.

Figura 41 – Fluxograma do processo da contagem de passageiros no ônibus.

Fonte: Autor.

As Tabelas 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24 contêm os resultados das leituras dos EPC durante os embarques e desembarques dos voluntários nessas voltas:

Tabela 18: Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 1.

VOLTA 1

HORA	LAT/LONG	PED	Nº do Voluntário	AÇÃO	EPC	RFID ¹		REAL ²			Observação:
						E	D	E	D	P	
		1	1	Subiu				1			Erro de leitura.
14:17:54	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	2	Subiu	401000000 CF169D16	1		2			
14:17:57	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	3	Subiu	401000000 6F6A9D16	2		3			
14:19:06	-2,34907E+13 -4,65615E+13	2	4	Subiu	401000000 AF129D16	3		4			
14:19:11	-2,34907E+13 -4,65615E+13	2	5	Subiu	401000000 CF3C9D16	4		5			
0,59671	-2,34907E+13 -4,65615E+13	2	6	Subiu	401000000 EF979D16	5		6			
		2	7	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
14:21:56	-2,34917E+13 -4,65613E+13	3	8	Subiu	401000000 4F9A9D16	6		7			
14:21:59	-2,34917E+13 -4,65613E+13	3	9	Subiu	401000000 CF299D16	7		8			
		3	10	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
		3	11	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
14:24:14	-2,34902E+13 -4,65608E+13	4	12	Subiu	401000000 AF299D16	8		9			
14:24:20	-2,34902E+13 -4,65608E+13	4	13	Subiu	401000000 8F589D16	9		10			
		4	1	Desceu				9			Erro de leitura.
14:30:41	-2,34896E+13 -4,65604E+13	4	3	Desceu	401000000 6F6A9D16		8	8			
		4	14	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
		4	15	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
		5									Ônibus não parou no PED.
EVENTOS						9	1	10	2	5	

RFID¹ DADOS OBTIDOS PELO LEITORREAL² CONTROLE MANUAL

NOTAS: Lotação do ônibus em função dos (E) embarques e dos (D) desembarques.
(P) Passageiros que permaneceram no PED.

Tabela 19: Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 2.**VOLTA 2** (Continua a contagem de passageiros da volta anterior)

HORA	LAT/LONG	PED	Nº do Voluntário	AÇÃO	EPC	RFID¹		REAL²			Observação:
						E	D	E	D	P	
		1									Ônibus não parou no PED.
14:32:14	-2,34907E+13 -4,65615E+13	2	7	Subiu	4010000000 F8C9D16	9		9			
14:34:58	-2,34916E+13 -4,65614E+13	3	10	Subiu	4010000000 2F6A9D16	10		10			
		3	11	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
14:37:35	-2,34895E+13 -4,65605E+13	4	14	Subiu	4010000000 8F909D16	11		11			
14:37:58	-2,34895E+13 -4,65607E+13	4	15	Subiu	4010000000 F7A9D16	12		12			
		4	1	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
		4	3	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
14:46:10	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	6	Desceu	4010000000 EF979D16		11		11		
14:46:15	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	5	Desceu	4010000000 CF3C9D16		10		10		
RFID¹	DADOS OBTIDOS PELO LEITOR				EVENTOS	4	2	4	2	3	

REAL² CONTROLE MANUAL

NOTAS: Lotação do ônibus em função dos (E) embarques e dos (D) desembarques.

(P) Passageiros que permaneceram no PED.

Tabela 20: Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 3.**VOLTA 3** (Continua a contagem de passageiros da volta anterior)

HORA	LAT/LONG	PED	Nº do Voluntário	AÇÃO	EPC	RFID ¹		REAL ²			Observação:
						E	D	E	D	P	
		1									Ônibus não parou no PED.
		2									Ônibus não parou no PED.
14:48:12	-2,34916E+13 -4,65613E+13	3	2	Desceu	401000000 CF169D16	9		9			
14:48:28	-2,34917E+13 -4,65613E+13	3	13	Desceu	401000000 8F589D16	8		8			
14:48:59	-2,34917E+13 -4,65611E+13	3	11	Subiu	401000000 6F909D16	9		9			
14:50:32	-2,34901E+13 -4,65608E+13	4	12	Desceu	401000000 AF299D16	8		8			
14:50:39	-2,34901E+13 -4,65608E+13	4	7	Desceu	4010000000 F8C9D16	7		7			
14:52:02	-2,34901E+13 -4,65608E+13	4	14	Desceu	401000000 8F909D16	6		6			
14:52:33	-2,34901E+13 -4,65608E+13	4	15	Desceu	4010000000 F7A9D16	5		5			
		4	1	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
		4	3	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
14:56:15	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	6	Subiu	401000000 EF979D16	6		6			
14:56:18	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	5	Subiu	401000000 CF3C9D16	7		7			
RFID ¹	DADOS OBTIDOS PELO LEITOR				EVENTOS	3	6	3	6	2	

REAL² CONTROLE MANUAL

NOTAS: Lotação do ônibus em função dos (E) embarques e dos (D) desembarques.

(P) Passageiros que permaneceram no PED.

Tabela 21: Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 4.**VOLTA 4** (Continua a contagem de passageiros da volta anterior)

HORA	LAT/LONG	PED	Nº do Voluntário	AÇÃO	EPC	RFID¹		REAL²			Observação:	
						E	D	E	D	P		
		1									Ônibus não parou no PED.	
		2									Ônibus não parou no PED.	
14:57:58	-2,34916E+13 -4,65613E+13	3	2	Subiu	401000000 CF169D16	8		8				
14:58:08	-2,34916E+13 -4,65613E+13	3	13	Subiu	401000000 8F589D16	9		9				
15:02:44	-2,34918E+13 -4,65610E+13	4	1	Subiu	401000000 EF559D16	10		10				
15:02:47	-2,34918E+13 -4,65610E+13	4	3	Subiu	401000000 6F6A9D16	11		11				
15:02:49	-2,34918E+13 -4,65610E+13	4	7	Subiu	4010000000 F8C9D16	12		12				
15:02:51	-2,34918E+13 -4,65610E+13	4	12	Subiu	401000000 AF299D16	13		13				
15:02:56	-2,34918E+13 -4,65610E+13	4	14	Subiu	401000000 8F909D16	14		14				
15:03:03	-2,34918E+13 -4,65610E+13	4	15	Subiu	4010000000 F7A9D16	15		15				
		5									Ônibus não parou no PED.	
RFID¹	DADOS OBTIDOS PELO LEITOR					EVENTOS		8	0	8	0	0

REAL² CONTROLE MANUAL

NOTAS: Lotação do ônibus em função dos (E) embarques e dos (D) desembarques.

(P) Passageiros que permaneceram no PED.

Tabela 22: Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 5.**VOLTA 5** (Continua a contagem de passageiros da volta anterior)

HORA	LAT/LONG	PED	Nº do Voluntário	AÇÃO	EPC	RFID ¹		REAL ²			Observação:
						E	D	E	D	P	
15:07:02	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	4	Desceu	401000000 AF129D16		14		14		
15:07:09	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	5	Desceu	401000000 CF3C9D16		13		13		
15:07:15	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	6	Desceu	401000000 EF979D16		12		12		
		1	7	Desceu					11		Erro de leitura.
15:07:39	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	10	Desceu	401000000 2F6A9D16		11		10		
15:08:54	-2,34908E+13 -4,65615E+13	2	2	Desceu	401000000 CF169D16		10		9		
		3	9	Desceu					8		Erro de leitura.
		3	8	Desceu					7		Erro de leitura.
15:09:48	-2,34916E+13 -4,65613E+13	3	11	Desceu	401000000 6F909D16		9		6		
15:09:59	-2,34916E+13 -4,65613E+13	3	12	Desceu	401000000 AF299D16		8		5		
15:12:04	-2,34901E+13 -4,65608E+13	4	3	Desceu	401000000 6F6A9D16		7		4		
15:12:10	-2,34901E+13 -4,65608E+13	4	13	Desceu	401000000 8F589D16		6		3		
15:15:14	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	15	Desceu	401000000 F7A9D16		5		2		
15:15:18	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	14	Desceu	401000000 8F909D16		4		1		
15:15:21	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	1	Desceu	401000000 EF559D16		3		0		
RFID ¹	DADOS OBTIDOS PELO LEITOR				EVENTOS	0	12	0	15	0	

REAL² CONTROLE MANUAL

NOTAS: Lotação do ônibus em função dos (E) embarques e dos (D) desembarques.

(P) Passageiros que permaneceram no PED.

Tabela 23: Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 6.**VOLTA 6** (Continua a contagem de passageiros da volta anterior)

HORA	LAT/LONG	PED	Nº do Voluntário	AÇÃO	EPC	RFID¹		REAL²			Observação:
						E	D	E	D	P	
15:19:34	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	5	Subiu	401000000 CF3C9D16	4		1			
15:19:36	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	4	Subiu	401000000 AF129D16	5		2			
15:19:40	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	6	Subiu	401000000 EF979D16	6		3			
		1	7	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
		1	10	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
15:21:22	-2,34908E+13 -4,65615E+13	2	2	Subiu	401000000 CF169D16	7		4			
15:21:56	-2,34916E+13 -4,65614E+13	3	9	Subiu	401000000 CF299D16	8		5			
15:21:58	-2,34916E+13 -4,65614E+13	3	8	Subiu	401000000 4F9A9D16	9		6			
15:22:03	-2,34919E+13 -4,65610E+12	3	11	Subiu	401000000 6F909D16	10		7			
15:22:42	-2,34919E+13 -4,65610E+12	3	12	Subiu	401000000 AF299D16	11		8			
15:25:37	-2,34910E+12 -4,65604E+13	4	3	Subiu	401000000 6F6A9D16	12		9			
15:25:41	-2,34910E+12 -4,65604E+13	4	13	Subiu	401000000 8F589D16	13		10			
15:30:43	-2,34896E+13 -4,65604E+13	5	14	Subiu	401000000 8F909D16	14		11			
15:30:46	-2,34896E+13 -4,65604E+13	5	15	Subiu	401000000 F7A9D16	15		12			
		5	1	Subiu				13			Erro de leitura.
15:33:17	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	13	Desceu	401000000 8F589D16		14		12		
15:33:23	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	13	Subiu	401000000 8F589D16			13			Desconsiderado pela regra.
15:33:30	-2,34895E+13 -4,65605E+13	5	5	Desceu	401000000 CF3C9D16		13		12		
RFID¹	DADOS OBTIDOS PELO LEITOR				EVENTOS	12	2	14	2	2	

REAL² CONTROLE MANUAL

NOTAS: Lotação do ônibus em função dos (E) embarques e dos (D) desembarques.

(P) Passageiros que permaneceram no PED.

Tabela 24: Resultado do teste de leitura das TAG – Volta número 7.**VOLTA 7** (Continua a contagem de passageiros da volta anterior)

HORA	LAT/LONG	PED	Nº do Voluntário	AÇÃO	EPC	RFID¹		REAL²			Observação:
						E	D	E	D	P	
15:38:33	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	14	Desceu	401000000 8F909D16		12		11		
15:38:42	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	12	Desceu	401000000 AF299D16		11		10		
15:38:45	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	11	Desceu	401000000 6F909D16		10		9		
15:38:49	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	3	Desceu	401000000 6F6A9D16		9		8		
15:38:50	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	4	Desceu	401000000 AF129D16		8		7		
15:38:53	-2,34898E+13 -4,65615E+13	1	6	Desceu	401000000 EF979D16		7		6		
		1	7	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
		1	10	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
15:41:22	-2,34908E+13 -4,65615E+13	2	2	Desceu	401000000 CF169D16		6		5		
15:43:28	-2,34916E+13 -4,65614E+13	3	8	Desceu	401000000 4F9A9D16		5		4		
15:43:26	-2,34916E+13 -4,65614E+13	3	9	Desceu	401000000 CF299D16		4		3		
		4									Ônibus não parou no PED.
15:46:18	-2,34896E+13 -4,65605E+13	5	1	Desceu	401000000 EF559D16		3		2		
15:46:42	-2,34896E+13 -4,65604E+13	5	15	Desceu	401000000 F7A9D16		2		1		
15:46:54	-2,34895E+13 -4,65605E+13	5	13	Desceu	401000000 8F589D16		1		0		
		5	5	Nenhuma						X	Voluntário permaneceu no PED.
RFID¹	DADOS OBTIDOS PELO LEITOR				EVENTOS	0	12	0	12	3	

REAL² CONTROLE MANUAL

NOTAS: Lotação do ônibus em função dos (E) embarques e dos (D) desembarques.

(P) Passageiros que permaneceram no PED.

Os dados demonstraram que todos os eventos registrados foram devidamente associados a coordenadas geográficas e houve a contagem de passageiros no interior do ônibus, informando sua lotação; desta forma, o teste foi considerado satisfatório. No entanto, algumas inconsistências foram observadas, devidas a erros de leituras dos EPC dos cartões inteligentes. Foram realizadas 78 movimentações de embarques e desembarques de voluntários, porém, o sistema RFID registrou apenas 71 delas (91%).

Na primeira volta do ônibus, no PED 1 (um) houve três embarques de voluntários, porém, o sistema RFID registrou apenas 2 (dois). O EPC do voluntário número 1 (um) não foi registrado. Nesta volta, no PED 4 (quatro), houve 2 (dois) desembarques do ônibus. O sistema RFID apenas registrou 1 (um) desembarque. Novamente, o EPC do voluntário 1 (um) não foi registrado. Na volta 5 (cinco) do ônibus, no PED 1 (um), houve 5 (cinco) desembarques. O sistema RFID registrou apenas 4 (quatro). O EPC do voluntário 7 (sete) não foi reconhecido. Ainda na volta 5 (cinco), no PED 3 (três), houve 4 (quatro) desembarques de voluntários; no entanto, o sistema RFID registrou apenas 2 (dois). Nesta volta, os EPC dos voluntários identificados pelos números 8 (oito) e 9 (nove) não foram reconhecidos pelo sistema. Na volta 6 (seis) do ônibus, no PED 5 (cinco), houve 4 (quatro) embarques de voluntários; no entanto, o sistema RFID registrou apenas 2 (dois). Um dos embarques não foi registrado devido a um erro de leitura do EPC do voluntário 1 (um). O outro erro foi devido aos critérios programados para interpretação dos eventos pelo programa do *middleware*. O voluntário de número 13 (treze) foi orientado a descer pela porta traseira e subir pela porta dianteira do ônibus no mesmo local. O *middleware* foi programado para interpretar uma saída de EPC do ônibus, apenas quando o veículo troca de posição geográfica e o EPC não é mais lido. Como os eventos de descida e subida do voluntário ocorreram no mesmo local (o ônibus não se movimentou), o programa descartou o evento, causando um erro de contagem.

Três erros foram atribuídos ao EPC 401000000EF559D16 do voluntário 1, que pode ter apresentado algum defeito. O erro de interpretação do evento do voluntário número 13 foi devido à falha na programação do leitor de RFID. Desconsiderando estes problemas, a eficiência de leitura chega a 96%.

- Etapa 3:

Nesta etapa, os dados coletados foram organizados e avaliados em comparação aos dados registrados manualmente, com a intenção de obter informações operacionais.

5.2. Informações operacionais obtidas

Os dados armazenados pelo sistema RFID foram analisados posteriormente e deram origem às seguintes informações sobre a operação teste:

5.2.1. Matriz Origem e Destino

Os dados foram facilmente organizados em uma matriz onde foram representados os locais de origens e destinos das viagens, bem como as quantidades de passageiros associadas a estes locais. A Tabela 25 apresenta a matriz O/D das viagens dos voluntários realizadas no teste.

Tabela 25: Matriz Origem e Destino (O/D).

MATRIZ ORIGEM/DESTINO (O/D)						
O \ D	P1	P2	P3	P4	P5	TOTAL NAS ORIGENS
P1	1	1			1	3
P2	3				1	4
P3	2		2			4
P4	2				2	4
P5						0
TOTAL NOS DESTINOS	8	1	2	0	4	15

Observa-se que nenhuma viagem foi originada no PED número cinco (P5), mas atraiu quatro viagens dos voluntários. O PED número um (P1) foi o local de

maior interesse dos voluntários como destino. O PED número quatro (P4) originou quatro viagens, mas não atraiu nenhuma viagem como destino dos voluntários.

5.2.2. Tempo de viagem dos passageiros

O tempo total da viagem dos passageiros considera os tempos gastos desde o horário do primeiro embarque, o tempo de permanência no ônibus, o tempo intermediário de espera no PED após o primeiro desembarque até o próximo embarque e assim, sucessivamente, até o horário em que ocorre o desembarque final do passageiro.

Os dados armazenados dos EPC recolhidos dos cartões inteligentes monitorados no teste permitiram calcular o tempo total da viagem de cada voluntário, conforme exemplificado na Tabela 26, a seguir:

Tabela 26: Tempo de viagem dos voluntários.

Nº do voluntário	8 dígitos finais do EPC	Tempo de viagem*		
		Hora da origem	Hora do destino	Tempo da viagem
1	EF559D16	14:17:49	15:46:18	1:28:29
2	CF169D16	14:17:54	15:41:22	1:23:28
3	6F6A9D16	14:17:57	15:38:49	1:20:52
4	AF129D16	14:19:06	15:38:50	1:19:44
5	CF3C9D16	14:19:11	15:33:30	1:14:19
6	EF979D16	14:19:16	15:38:53	1:19:37
7	0F8C9D16	14:32:14	15:07:28	0:35:14
8	4F9A9D16	14:21:56	15:43:28	1:21:32
9	CF299D16	14:21:59	15:43:26	1:21:27
10	2F6A9D16	14:34:58	15:07:39	0:32:41
11	6F909D16	14:48:59	15:38:45	0:49:46
12	AF299D16	14:24:14	15:38:42	1:14:28
13	8F589D16	14:24:20	15:46:54	1:22:34
14	8F909D16	14:37:35	15:38:33	1:00:58
15	0F7A9D16	14:37:58	15:46:42	1:08:44

*Tempo da viagem: Diferença entre o horário do primeiro evento primário e o último evento secundário do BU monitorado.

5.2.3. Tempo de viagem do ônibus

Início da operação comercial do veículo, obtido pela diferença de tempo entre o horário do primeiro embarque e o horário do último desembarque na linha:

- Último desembarque: 15h46
- Primeiro embarque: 14h17
- Tempo total da viagem do ônibus = 1h29

5.2.4. Tempo total de espera dos passageiros nos pontos de parada

O tempo de espera em que um voluntário permaneceu aguardando pelo ônibus nos PED pode ser obtido por meio da diferença de tempo entre consecutivos eventos secundários e eventos primários dos registros do EPC do cartão inteligente. A soma de todos os tempos de espera permite calcular o tempo total de espera do passageiro pelo ônibus. A Tabela 27 apresenta os tempos de espera dos usuários enquanto aguardavam pelo ônibus.

Tabela 27: Tempo total de espera dos voluntários no PED.

TEMPOS DE ESPERA DOS VOLUNTÁRIOS NOS PONTOS DE CONEXÃO (PED)

Nº DO VOLUNTÁRIO	8 DÍGITOS FINAIS DO EPC	1ª CONEXÃO		2ª CONEXÃO		3ª CONEXÃO		TEMPO TOTAL DE ESPERA
		PED DA ESPERA	TEMPO DE ESPERA	PED DA ESPERA	TEMPO DE ESPERA	PED DA ESPERA	TEMPO DE ESPERA	
1	EF559D16	P4	0:38:16	P5	0:15:26			0:53:42
2	CF169D16	P3	0:09:46	P2	0:12:28			0:22:14
3	6F6A9D16	P4	0:32:06	P4	0:13:33			0:45:39
4	AF129D16	P1	0:12:34					0:12:34
5	CF3C9D16	P5	0:10:03	P1	0:12:25			0:22:28
6	EF979D16	P5	0:10:05	P1	0:12:25			0:22:30
7	0F8C9D16	P4	0:12:10					0:12:10
8	4F9A9D16	P3	0:12:12					0:12:12
9	CF299D16	P3	0:12:58					0:12:58
10	2F6A9D16	P1						0:00:00
11	6F909D16	P3	0:12:15					0:12:15
12	AF299D16	P4	0:12:19	P3	0:12:43			0:25:02
13	8F589D16	P3	0:09:40	P4	0:13:31	P5	0:00:06	0:23:17
14	8F909D16	P4	0:10:54	P5	0:15:25			0:26:19
15	0F7A9D16	P4	0:10:30	P5	0:15:32			0:26:02

5.2.5 – Lotação do veículo

Nas atividades de planejamento das linhas de ônibus, um índice que representa a quantidade de vezes que os lugares disponíveis no ônibus são ocupados por passageiros é chamado de Fator de Renovação – FR. Um cálculo para obter este fator pode ser feito pela divisão entre a quantidade total de passageiros transportados durante a viagem e a quantidade de passageiros observada no trecho de maior carregamento (maior número de pessoas dentro do ônibus ao mesmo tempo). Uma equação genérica para obter o FR é:

$$FR = \left(\frac{\sum \text{Passageiros da viagem}}{\text{Passageiros no trecho de máximo carregamento}} \right)$$

O FR é um índice fundamental para obter a lotação do ônibus. A lotação de passageiros no ônibus é preponderante para classificar o nível da qualidade do serviço oferecido aos passageiros, pois é um dos atributos que mede o conforto a eles proporcionado. O FR é muito utilizado nas atividades da programação dos serviços e é útil para determinar a capacidade de transporte que deve ser oferecida aos passageiros.

Em São Paulo, os contratos de concessão e de permissão dos serviços entre a prefeitura municipal e as empresas operadoras delimita o índice máximo de lotação entre 5 e 6 passageiros em pé, por metro quadrado. Um cálculo genérico para obtenção de um índice que mede a lotação no ônibus pode ser representado pela equação a seguir.

$$\text{Índice de Lotação} = \left[\frac{\left(\frac{\sum \text{Passageiros}}{\mathbf{FR}} \right) - \text{Assentos}}{\text{Área útil em metros quadrados}} \right]$$

O Índice de Lotação é uma informação que deve ser constantemente atualizada e utilizada pelas estruturas de gestão do serviço público, uma vez que representa o estado de conforto, item mais importante de avaliação, sob o ponto de vista dos passageiros. Por outro lado, especificamente nas atividades de planejamento, tem fundamental importância para dimensionar a quantidade e as

características da frota que deve funcionar na linha, determinando a frequência e capacidade dos ônibus.

Os testes produziram dados que foram suficientes para medir a lotação real do ônibus entre os PED e calcular, a cada volta da linha teste, o Fator de Renovação. A Tabela 28 contém os valores que foram obtidos e que representam estes indicadores.

Tabela 28: Informações da lotação e FR da linha – Dados RFID.

LOTAÇÃO, PASSAGEIROS TRANSPORTADOS E FATOR DE RENOVAÇÃO.

Monitorado pelo Sistema RFID

VOLTA DO ÔNIBUS	LOTAÇÃO NO ÔNIBUS					PASSAGEIROS TRANSPORTADOS (Embarques)	FR*
	P1	P2	P3	P4	P5		
Volta 1	2	5	7	8	8	9	1,125
Volta 2	8	9	10	12	10	13	1,083
Volta 3	10	10	9	5	7	16	1,600
Volta 4	7	7	9	14	15	24	1,600
Volta 5	11	10	8	6	6	24	2,182
Volta 6	6	7	11	13	13	36	2,769
Volta 7	7	6	4	4	1	36	5,143
*FR = Fator de Renovação							
FR DA LINHA =							2,400

A Figura 42 apresenta um gráfico que demonstra a lotação do ônibus ao longo do itinerário composto pelas sete voltas realizadas no teste.

Figura 42 – Gráfico da lotação de passageiros no ônibus durante o teste.

Fonte: Autor.

A Tabela 29 contém, a título de comparação com os valores da tabela anterior, os valores registrados por um pesquisador no ônibus da linha teste, por meio de observação.

Tabela 29: Informações da lotação e FR da linha – Dados obtidos por meio de controle manual.

LOTAÇÃO, PASSAGEIROS TRANSPORTADOS E FATOR DE RENOVAÇÃO.

Controle manual

VOLTA DO ÔNIBUS	LOTAÇÃO NO ÔNIBUS					PASSAGEIROS TRANSPORTADOS	FR*
	P1	P2	P3	P4	P5		
Volta 1	3	6	8	8	8	10	1,250
Volta 2	8	9	10	12	10	14	1,167
Volta 3	10	10	9	5	7	17	1,700
Volta 4	7	7	9	15	15	25	1,667
Volta 5	10	9	5	3	0	25	2,500
Volta 6	3	4	8	10	12	39	3,250
Volta 7	6	5	3	3	0	39	6,500
*FR = Fator de Renovação							FR DA LINHA = 2,600

Para obter a quantidade de passageiros, sem repetição, que viajou no ônibus, basta dividir o último valor de passageiros transportados (coluna embarques, volta 7) pelo fator de renovação. As equações a seguir demonstram estes valores. A primeira mostra dados obtidos pelos dispositivos RFID e, a segunda, resultados para os dados obtidos por observação e registro manual:

$$\text{Passageiros} = \left(\frac{36}{2,400} \right) = 15$$

$$\text{Passageiros} = \left(\frac{39}{2,600} \right) = 15$$

5.2.6 – Sistematização de informações

Automatizar a metodologia para recolha de dados dos cartões inteligentes por meio de sistemas de identificação por radiofrequência sistematiza a disponibilidade das seguintes informações:

- Histórico de deslocamento do EPC: o recebimento sistemático de dados dos EPC dos BU monitorados permite atualizar um banco de dados com os locais e as quantidades de passageiros: nas origens das viagens, nas conexões e nos destinos. Estes dados, organizados, formam um mapa atual de deslocamento de pessoas pelo transporte público na cidade ao longo do dia. Habilita, dessa forma, que gestores do transporte possam calcular quais as frequências e capacidades necessárias para atendê-las, mantendo os serviços eficientes. Por meio do histórico de deslocamentos dos passageiros, quando há ocorrências que prejudicam a circulação dos ônibus, é possível calcular a quantidade de usuários que podem ser prejudicados por atrasos e indisponibilidades e, a partir dessa informação, acionar planos de contingência para prestar o atendimento;
- Número de embarques: os dados dos eventos primários, organizados pelos locais onde ocorreram, informam em quais pontos da cidade a demanda de usuários é mais frequente na procura por transporte público.

A análise dessas frequências pode determinar operações específicas para melhorar o serviço público aos passageiros que buscam por estes locais;

- Número de desembarques: os dados dos eventos secundários que representam o final dos deslocamentos dos passageiros podem ser submetidos ao mesmo tipo de análise descrita no item anterior, mas com foco nos locais que atraem as pessoas, que podem ser locais para conexão entre serviços de transporte ou destinos finais, onde as pessoas realizam suas atividades;
- Locais de conexão entre serviços: o número de embarques e desembarques das linhas, organizados pelos locais dos eventos, pode determinar os locais na cidade que são pontos naturais de conexão entre serviços de linhas entre rotas diferentes. Estes locais recebem prioridade para investimentos de infraestrutura pelo poder público, pois concentram quantidade expressiva de usuários e são pontos importantes para promover controle dos serviços;
- Lotação de passageiros no ônibus: a lotação de passageiros no ônibus permite gerenciar a qualidade dos serviços oferecidos a eles e melhorar a eficiência no emprego da frota. É um indicador importante que deve ser constantemente fiscalizado pelo Órgão Gestor;
- Fator de Renovação: trata-se de um indicador que afere quantas vezes os lugares disponíveis nos ônibus (assentos e área útil) são utilizados durante uma viagem. O indicador é fundamental para programar a capacidade e a frequência dos atendimentos, de forma que sejam adequados aos passageiros;
- Tempo do deslocamento do passageiro: os tempos dos deslocamentos dos passageiros são informações que permitem priorizar ações para implantar estratégia de operação para melhorar a velocidade comercial dos ônibus, uma vez que o tempo da viagem é um atributo da qualidade do transporte, aumentando a aceitação do serviço público em relação aos modos concorrentes individuais motorizados;
- Tempo de espera: o tempo de espera é um indicador sensível da qualidade dos serviços de transporte coletivo, pois é imediatamente percebido pelos usuários e, quando é maior do que o suportável, é

considerado como tempo perdido, gerando avaliações negativas dos serviços. Deve receber atenção dos gestores dos serviços para que possa, constantemente, manter-se compatível com as expectativas dos usuários;

- Tempo total da viagem do passageiro: o tempo total de viagem compreende todos os deslocamentos realizados pelo passageiro para concluir sua viagem e é decorrente da soma dos tempos de deslocamento, que considera as conexões realizadas e os tempos de espera. Esta informação é de grande interesse para as atividades de planejamento, uma vez que o tempo de viagem do passageiro é, geralmente, diferente do tempo de deslocamento de veículos. Neste sentido, a posse desta informação permite uma visão mais abrangente para planejar o transporte em função destes tempos, que considera o resultado de todas as linhas de ônibus que o passageiro utilizou para realizar sua viagem;
- Origem e destino das viagens de passageiros: as informações de dados agregados de eventos em locais de origens e destinos das viagens permitem produzir matrizes de Origem-Destino que são ferramentas muito úteis no setor de planejamento de transporte. As informações podem ser organizadas por regiões da cidade e considerar elementos diferentes da rede de transporte. Podem prover indicações sobre as viagens de passageiros em uma única linha, em um grupo de linhas, pelo tipo de modal (ônibus, trem ou Metrô), determinado por um conjunto de vias ou ainda, por grupos de usuários, como viagens de pessoas idosas, portadores de mobilidade reduzida, estudantes ou trabalhadores, entre outras agregações possíveis.

Uma arquitetura genérica para suportar o funcionamento do hardware, software, gerenciamento de dados e informação, telecomunicações e redes é apresentada na Figura 43 e refere-se às tecnologias para coletar, processar, armazenar e distribuir a informação com a finalidade de facilitar o planejamento, a coordenação e o processo decisório.

Figura 43 – Desenho de uma arquitetura genérica de suporte ao funcionamento da tecnologia RFID no setor de transporte público.

Fonte: Autor.

Envolve a estrutura da organização, seus sistemas, os relacionamentos entre subsistemas, seus mecanismos de integração e conexões com mundo externo, as tecnologias presentes em seus componentes, os princípios de arquitetura aceitos para a evolução, as capacidades da plataforma de aplicações atuais, assim como os prazos, investimentos e recursos disponíveis.

6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da tecnologia RFID no setor de transporte público coletivo cumpre seu papel em reconhecer os cartões inteligentes equipados com TAG e produzir informações relevantes sobre os deslocamentos dos passageiros. A metodologia utilizada neste estudo demonstrou o funcionamento eficiente da tecnologia, boa qualidade nos resultados e geração de informações que retratam bem a realidade das pessoas enquanto se deslocam.

Os cartões inteligentes, utilizados por milhares de pessoas para pagar a tarifa do transporte, apresentam-se como potenciais fornecedores de informações, quando componentes da tecnologia RFID são neles incorporados. Nesta condição, possuem a vantagem de não exigir mudanças nos hábitos dos usuários ou requerer deles, qualquer outra ação para funcionar.

A automação de metodologia para avaliação da demanda de passageiros resolveu os problemas da falta de precisão no levantamento de dados sobre os locais onde são iniciadas e finalizadas as viagens de passageiros, bem como tornou automática a obtenção destes dados, sem necessidade de pesquisas manuais ou de estimativas. Esta capacidade torna o modelo de aplicação inovador, com grande utilidade para produzir informações antes não possíveis de serem obtidas de forma sistemática.

Com base nos dados coletados, diversas informações foram produzidas, com medidas sobre os tempos a que são submetidos os usuários do transporte público, indicadores da lotação de passageiros nos ônibus e a construção de uma matriz O/D com precisão na identificação dos locais que geram ou atraem demanda. As informações produzidas são particularmente interessantes aos órgãos de planejamento e gestão para subsidiar ações e, por meio delas, aprimorar o sistema público de transporte coletivo, pois trazem benefícios diretos para os passageiros e para o funcionamento da cidade, ampliando as condições para desenvolver a mobilidade das pessoas e, por esta razão, possuem relevância social e econômica.

As informações permitem alterar os padrões tradicionais no controle dos serviços dos ônibus, dado pelo foco atribuído ao gerenciamento da oferta (frota), em

ações para a gestão da demanda de passageiros, aumentando sua importância. São recursos que concedem aos Órgãos Gestores e empresas fornecedoras dos serviços aprimorar os meios de controle para programar serviços mais eficientes; resolvendo problemas que implicam na baixa qualidade dos serviços.

Utilizar este modelo tecnológico no setor de transporte é econômico, pois reduz custos relacionados com pesquisas manuais, que são dispendiosas. Fornece maior racionalidade nos recursos de operação dos ônibus, proveniente de maior precisão no dimensionamento deles e economiza tempo dos usuários com informações atualizadas sobre as condições em que são oferecidos os serviços do transporte público.

É eficaz no desenvolvimento de ajustes na rede de transporte porque aperfeiçoa a gestão sobre quesitos da mobilidade urbana e da acessibilidade aos serviços, pois produz informação sobre o uso de locais onde ocorrem as origens e os destinos das viagens das pessoas, preenchendo a lacuna desta informação. A ideia é que, quanto mais informações sejam coletadas, mais previsível será para os gestores públicos e privados, como as pessoas mover-se-ão pela cidade, utilizando transporte público, o que é uma vantagem estratégica para implantar ações operacionais urbanas para dar prioridade ao transporte de passageiros.

Automação de metodologia para avaliação da demanda de passageiros é importante no gerenciamento da operação dos ônibus porque torna disponíveis informações sobre como os serviços estão sendo consumidos e quais são os interesses de deslocamentos das pessoas. Informações sobre a oferta e a demanda podem ser, então, combinadas pelos gestores do transporte para que alternativas sejam oferecidas como opção aos passageiros, organizando o uso dos serviços e reduzindo os impactos dos problemas. Estas informações podem ser transmitidas, de forma *on-line*, para serem acessadas pelos passageiros, com o intuito de apoiá-los a planejar suas viagens, pois qualquer modificação que altere os padrões de atendimento pode ser comunicada.

No entanto, para complementar os resultados obtidos neste trabalho, ainda existem passos a serem consolidados no caminho da adoção de tecnologias RFID para obter informações no setor de transporte de passageiros, como, por exemplo:

-
- Verificar quais modelos de antenas podem se integrar ao leiaute dos ônibus, buscando melhor posicionamento para funcionar sem comprometer a circulação dos passageiros no seu interior;
 - Aprimorar as características técnicas dos *transponders*, para uso eficiente em áreas onde há concentração de pessoas e outras restrições físicas no ambiente dos ônibus que limitam a propagação e alcance das ondas eletromagnéticas emitidas pelos sistemas de RFID;
 - Avaliar a capacidade dos sistemas RFID em identificar cartões de passageiros fora dos ônibus; nos PED e outros pontos notáveis;
 - Estudar o modelo tecnológico integrado em equipamentos Contadores Automáticos de Passageiros (APC), para ampliar suas funcionalidades na gestão da demanda;
 - Analisar os custos decorrentes da logística e dos investimentos necessários para realizar a substituição de cartões inteligentes atuais por outros equipados com componentes da tecnologia RFID. Analisar os custos decorrentes da aquisição, instalação e manutenção de equipamentos desta tecnologia nos ônibus;
 - Propor uma estrutura de TI para interoperacionalizar o funcionamento dos sistemas RFID com Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), integrando-os em uma arquitetura de informação, baseada numa plataforma aberta.

Estes temas configuram-se como os próximos passos que, em trabalhos futuros, deverão ser analisados e discutidos, incluídos numa descrição mais completa do modelo para aprimorar a linha de pesquisa do presente estudo.

Além do mais, o modelo tecnológico pode ser aplicado em diversos setores da vida moderna, influenciando na forma como os produtos e serviços são produzidos e oferecidos pelas empresas para serem adequados as necessidades de consumo das pessoas, como em aeroportos, *shopping centers*, hospitais e em outras atividades onde o atendimento ao público é prioridade.

REFERÊNCIAS

AGARD, B.; MORENCY, C.; TRÉPANIER, M. **Mining Smart Card Data from an Urban Transit Network**. In J. Wang (ed.), *Encyclopedia of Data Warehousing and Mining* (pp. 1292-1302). IGI Global. ISBN: 9781605660103, 2009.

AGUIAR, E. M. **Análise crítica dos indicadores de eficiência e eficácia propostos para avaliação de sistemas de transporte público urbano**. São Carlos. 1985. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 1985.

AKINYEMI, E. O.; ZUIDGEEST, M. The use of the sustainability concept in transportation engineering: experiences and future challenges. In: **VIII World Conference on Transportation Research**, Antwerp, Belgium, 1998.

ALBA, C. A. **Transportation Accessibility**. CE 790, UNIVERSITY OF WISCONSIN-MILWAUKEE. December 2003. Disponível em: <<https://www4.uwm.edu/cuts/2050/access.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

ANTP. **Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP. Revista dos Transportes Públicos, ano 21, 1999, 1º trimestre. Disponível em: <Http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/057A84C9-76D1-4BEC-9837-7E0B0AEAF5CE.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2014.

_____. **Transporte Humano, Cidades com Qualidade de Vida**. Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP, ISBN 85-86457-01-9, 1997. Disponível em: <http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2014/10/03/9AFE933E-903C-4B31-B2A4-1FB59795FD13.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2014.

ARRUDA, J. B. F. Determinação do impacto de projetos de transportes na acessibilidade do trabalhador às principais zonas de emprego urbano. In: **Anais... XI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, ANPET, Rio de Janeiro, v. II, p. 957-984, 1997.

AWARE. **Identification Flats - A Revolution in Fingerprint Biometrics**. White Paper, 2009. Disponível em: <http://www.aware.com/port/biometrics/whitepapers/wab_identity-trust.html>. Acesso em: 12 jul. 2014.

BAGCHI, M.; WHITE, P. R. **What role for smart-card data from bus system?** Proceedings of Institution of Civil Engineers, Paper i3557, 2003, p. 39-46. Canada.

BARAT, J.; BATISTA, M. S. N. B. **Transporte público e programas habitacionais. Pesquisa e Planejamento Econômico**. Comunicação (II) nº 3, Rio de Janeiro, jun. 1973, p. 375-388. Disponível em: <<http://www.memoria.nemesis.org.br/index.php/ppe/article/viewFile/259/196>>. Acesso em: 09 abr. 2014.

BARTLETT, A. The Meaning of Sustainability. **Teachers Clearinghouse for Science and Society Education Newsletter**, v. 31, n. 1, 2012.

BATAGAN, L. **Smart Cities and Sustainability Models**. Informatica Economica vol. 15, N. 15. - March, 2011, p. 80. Disponível em: <<http://revistaie.ase.ro/content/59/07%20-%20Batagan.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

BATES, J. W. Synthetic Derivation of Internal Trips for Small Cities. **Transportation Research Record**, n. 526, p. 93-103, 1974.

BEATLEY, T. The many meanings of sustainability. **Journal of Planning Literature**, May, v. 9, n. 4, p.339–342, 1995.

BELL, M. G. H. Log-linear models for the estimation of origin-destination matrices form traffic counts. In: **Proceedings Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory**. Delft, the Netherlands, 1984.

BELL, M. G. H. The estimation of an origin-destination matrix by constrained generalized least squares. **Transportation Research**, n. 25, p. 13-22, 1991.

BERT, E. **Dynamic Urban Origin-Destination Matrix Estimation Methodology**. LAVOC, Lausanne, EPFL, PhD thesis, 2009. Disponível em: <http://infoscience.epfl.ch/record/135711/files/EPFL_TH4417.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2014.

BESSAM, H. E. **What does an RFID project implementation take?** RFID Journal, 2011. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/whitepapers/download?253>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

BIFULCO, F.; AMITRANO, C. C.; TREGUA, M. **Smart Cities and intelligent transport initiatives: a paradigmatic overview**. First International Virtual Conference on ITS. Section ITS. ITRANSPORT - PROCEEDINGS IN ITS 2013 - August 2013. Disponível em: <<http://www.itransport.sk/archive/?vid=1&aid=3&kid=100101-27&q=f1>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

BORGHETTI, L. C. **Guia de procedimentos para o desenvolvimento institucional e organizacional do Sistema Local de Transportes Urbanos (SLTU)**: Cidades de Porte Médio. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Transportes Urbanos – EBTU, 1984.

BRASIL, LEI FEDERAL Nº 9.503 de 23 de setembro de 1997. **Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Presidência da República. Disponível em: <http://www.stf.jus.br/arquivo/cms/processoAudienciaPublicaAdin4103/anexo/Lei_9.503_de_23_de_setembro_de_1997.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2014.

BRASIL, LEI FEDERAL Nº 12.587 de 3 de Janeiro de 2012. **Diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Presidência da República. Casa Civil, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm>. Acesso em: 17 jun. 2014.

Brasil-ID. **Sistema Nacional de Identificação Brasil-id**. Sistema de Identificação, Rastreamento e Autenticação de Mercadorias. MCT / ENCAT / CPA Wernher von Braun, 2013. Disponível em: <<http://www.brasil-id.org.br/index.php/home/sobre>>. Acesso em: 03 Jul. 2014.

BRUTON, M. J. **Introduction to Transportation Planning**. London: Hutchinson & Co. 1979.

CARDOSO, C. E. P. **Velocidade Média de deslocamento. Construindo uma metodologia de análise**, 2005. Disponível em: <<http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/velocidade.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2014.

_____. **Análise do transporte coletivo urbano sob a ótica dos riscos e carências sociais**. Tese (doutorado em Serviço Social), PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO - PUC, 2008, 123 f. - Disponível em: <http://www.sapientia.pucsp.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=7056>. Acesso em: 26 jul. 2014.

_____. **Qual o número de veículos que circula em São Paulo?** São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/qual_o_numero_de_veiculos_em_sao_paulo.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2014.

CARDOSO, F. S. **Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Identificação por Rádio Frequência para Aplicações Hospitalares**. Dissertação (Mestrado - Engenharia Biomédica) — Área de Instrumentação Biomédica, Universidade Federal Paraiba, João Pessoa, 2000.

CASCETTA, E. Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: a generalized least square estimator. **Transportation Research**, 18B, p. 289-299, 1984.

CERP-IoT. **Internet of Things: Strategic Research Roadmap**. V. 11. European Research Cluster on the Internet of Things. 2009. Disponível em: <http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf> Acesso em: 14 jun. 2014.

CHAPPELL, G.; GINSBURG, L.; SCHMIDT, P.; SMITH, J.; TOBOLSKI, J. **Auto-Id on Demand: The XXVI ENEGEP**. Fortaleza, CE, Brasil, Outubro de 2006.

COHN, N. **TomTom Traffic Index: Toward a Global Measure**. ITS France, Paris, January 2014. Disponível em: <http://www.congres-atecitsfrance.fr/wp-content/uploads/2013/12/COHN_com085-Atelier-A7.pdf>. Acesso em: 12 set. 2014.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Por uma nova cultura de mobilidade urbana**. Livro Verde. Public consultation in preparation for the Green Paper on urban mobility, SEC (2007)1209-25.9.2007, Bruxels. Disponível em:

<<http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Planeamento/DocumentosdeReferencia/RespostaLivreVerde/Documents/LivreVerdeNovaCulturaMobilidade.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2014.

COOMER, B. D.; CORRADINO, J. C. Trip Generation Distribution in a Small Urban Area - an Efficiency Analysis - **Traffic Engineering**, v.43, n. 9, p.60-67, June 1973.

CORRADINO, J. C. The Effect of the Highway System and Land Development on Trip Production - **Traffic Engineering**, v.38, n. 9, p.32-39, June 1968.

CUI, A. **Bus Passenger Origin-Destination Matrix Estimation Using Automated Data Collection Systems**. [s.l.]: MIT. [S. l.], 2006, p. 134.

D'ANDREA, C.; RAIA JÚNIOR, A. A. O Estatuto da Cidade e os planejamentos de transporte e de circulação, **Revista dos Transportes Públicos - ANTP** - Ano 28. 2006, p. 93-102. Disponível em: <http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/91B875F3-DFD1-4DFF-BE21-63B82016F266.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2014.

D.O.U. **Dispõe sobre a criação do Sistema Nacional de Identificação, Rastreamento e Autenticação de mercadorias ou Brasil-ID**. Brasil, Diário Oficial da União, seção 1, nº 70, sexta-feira, 12 de abril de 2013. Disponível em: <http://www.brasil-id.org.br/index.php/home/download_form/legislacao/IN-DOU-12-04-2012-secao1-pg33e34.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2014.

DAVIDSON, K.B. Accessibility in transport / land-use modeling and assessment. **Environment and Planning**. Aug. 1977, p. 1401-1416.

DEMOGRAPHIA - **Demographia World Urban Areas** - 10th Annual Edition - Revised at May 2014, 20 p. – Disponível em: <<http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2014.

DENATRAN. **Frota por município**. Departamento Nacional de Trânsito - Sistema Nacional de Registro de Veículos/RENAVAM, Sistema Nacional de Estatística de Trânsito/SINET, março 2014. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2014.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2014.

DI PIERRO, L. F. Determinação de matrizes de viagens de passageiros de ônibus a partir de uma pesquisa embarque/desembarque. **Revista dos Transportes Públicos**. v. 7, n. 27, p.49-68, 1985.

DIAS, E. M.; FACCHINI, E.; MORAES, A. C.; FERREIRA, M. L.; ESTE, W. R.; DIAS, M. L. R. P. **A Future Look**. ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal. Regular Issue Vol. 3 nº 3. 2014. Disponível em: <<http://revistas.usal.es/index.php/2255-2863/article/view/ADCAIJ2014335463>>. Acesso em: 24 mai. 2014.

DIAS, J. F. F. **Desenvolvimento de Aplicações RFID Comerciais**. Dissertação (Mestrado) – UMINHO – UNIVERSIDADE DO MINHO, Portugal, 2008.

DIAS, M. L. R. P. **Cadeia Logística Segura Brasileira: Suprimento Internacional de Carne Bovina Industrializada e Rastreabilidade**. Dissertação (Mestrado) -

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

DINGUS, T.; HULSE, M.; JAHNS, S.; ALVES-FOSS, J.; CONFER, S.; RICE, A.; ROBERTS, I.; HANOWSKI, R.; SORENSON D. **Development of Human Factors Guidelines for Advanced Traveller Information Systems and Commercial Vehicle Operations**. Literature Review. November 1996.

DOBKIN, D. M. **The RF in RFID Passive UHF RFID in Practice**. EUA: Elsevier, 2008.

DOMDOUZIS, K.; KUMAR; B.; ANUMBA, C. **Radio-Frequency Identification (RFID) applications: A brief introduction**. Original Research Article Advanced Engineering Informatics, Volume 21, Issue 4, October 2007, p. 350-355. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 03 jul. 2014.

DUTTA, S. **The Global Innovation Index 2011 - Accelerating Growth and Development**. Fontainebleau - INSEAD - The Business School for the World – 2011. Disponível em: <http://www.globalinnovationindex.org/userfiles/file/gii-2011_report.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2014.

EPCglobal. **EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860-960MHz**. Version 1.1.0. Specification for RFID Air Interface. GS1. 17 December 2005 (2005b). Disponível em: <http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/uhfc1g2/uhfc1g2_1_1_0-standard-20071017.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2014.

FARIA, C. A. **Percepção do usuário com relação às características do nível de serviço do transporte coletivo por ônibus**. 1985, 160 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1985.

FERRAZ, A. C. P. A qualidade do serviço de transporte coletivo em cidades médias sob a ótica dos usuários. In: **Encontro Nacional da ANPET**, São Paulo, 1988.

_____. **Sobre a eficiência e a eficácia do transporte público nas cidades médias**. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, São Carlos, 1990.

_____. **Escritos sobre transporte, trânsito e urbanismo**. Ribeirão Preto: São Francisco, 1998, p. 118.

FERRAZ, A. C. P.; SILVA, A. N. R.; FELEX, J.B. Custo do transporte público x tamanho e forma das cidades. **Revista dos Transportes Públicos**, v. 13, n. 52, p. 17-21, 1991a.

_____. Impacto do nível de serviço no custo do transporte público urbano. **Revista de Transporte e Tecnologia**, v. 4, n. 7, p. 11-19, 1991b.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte público urbano**. 2ª ed., São Carlos: RiMa Editora, 2004.

FERREIRA, E. A. **Um método de utilização de dados de pesquisa embarque/desembarque na calibração de modelos de distribuição do tipo gravitacional**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC/USP. São Carlos, 1999.

FERREIRA, M. L.; MARTE, C. L.; MEDEIROS, J. E. L.; SAKURAI, C. A.; FONTANA, C. F. **RFID for Real Time Passenger Monitoring**. Recent Researches in Telecommunications, Informatics, Electronics and Signal Processing. 12th International Conference on Telecommunications and Informatics (TELE-INFO '13), Baltimore, MD, USA, September 2013, p. 170-175. Disponível em: <<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2013/Baltimore/TESIMI/TESIMI-22.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2014.

FERREIRA, M. L.; GOUVEIA, J. A. M.; FACCHINI, E.; PORKONY, M. S.; DIAS, E. M. **Real Time Monitoring of Public Transit Passenger Flows Through Radio Frequency Identification - RFID Technology Embedded in Fare Smart Cards**. In: 18th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers - CSCC14, 2014, Santorini. Anais do 18th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers - CSCC14. Santorini, 2014. v. II. p. 599-605. Disponível em: <<http://www.europment.org/library/2014/santorini/bypaper/SYSTEMS/SYSTEMS2-40.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2015.

FETRANSPOR. **Guia da Mobilidade Sustentável - uma cidade melhor para uma vida melhor**. Diretoria de Mobilidade Urbana da Fetranspor. Out. 2013. Disponível em: <http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/01GuiaMOBILIDADE_VERS%C3%82O_out2013.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2014.

FINKENZELLER, K. **RFID Handbook. Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication**. 3th ed., Wiltshire, UK: John Wiley & Sons, 2010. ISBN 978-0-470-69506-7

FOINA, A. G. **Monitoração de rede de sensores com transponders**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

FRIEDEWALD, M.; COSTA, O. Da; PUNIE, Y.; ALAHUHTA, P.; HEINONEN, S. **Perspectives of ambient intelligence in the home environment**. ELSEVIER, Telematics and Informatics 22 (2005), pp. 221–238. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Michael_Friedewald2/publication/222681195_Perspectives_of_ambient_intelligence_in_the_home_environment/links/02bfe50ed87b72188f000000.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2014.

FRIEDMANN, J. **The World City Hypothesis - Development and Change**. Volume 17, Issue 1, January 1986, p. 69-83 – Article first published online: 22 Oct. 2008. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-7660.1986.tb00231.x/abstract>>. Acesso em: 09 mar. 2014.

GARFINKEL, S.; HOLTZMAN, H. **RFID: applications, security and privacy**. [s.l.]: Addison Wesley, 2005.

- GEURS, K. T.; WEE, B. Van. **Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions**. Journal of Transport Geography 12, ELSEVIER, 2004, p. 127-140. Disponível em: <[http://projectwaalbrug.pbworks.com/f/Transp+Accessib++Geurs+and+Van+Wee+\(2004\).pdf](http://projectwaalbrug.pbworks.com/f/Transp+Accessib++Geurs+and+Van+Wee+(2004).pdf)>. Acesso em: 23 jul. 2014.
- GIFFINGER, R.; GUDRUN, H. **Smart Cities Ranking - an Effective Instrument for the Positioning of Cities?** Architecture, City and Environment – ACE, V. 12 - Ano IV, N. 12 – 2010, p. 7-25. Disponível em: <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/8550/7/ACE_12_SA_10.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2014.
- GLOVER, L. **Public Transport as a Common Resource - Australian Centre for the Governance and Management of Urban Transport (GAMUT)**. UNIVERSITY OF MELBOURNE, Melbourne, Australia, 2011. Disponível em: <<http://cw.routledge.com/textbooks/9780415529037/data/4-1-1-Paper.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2014.
- GOODE, L.R. Evaluation of Estimated Vehicle Trip Productions and Attractions in a Small Urban Area. **Transportation Research Record**, n. 638, p. 21-25, 1977.
- GLOVER, B.; BHATT, H. **Fundamentos de RFID**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2007, p. 53, 63, 103.
- GOMIDE, A. Á. **Mobilidade urbana, iniquidade e políticas sociais. Políticas sociais: acompanhamento e análise**. V. 12, 2006, p. 242-250. Disponível em: <http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/politicas_sociais/ensaio5_al exandre12.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2014.
- GOUVEIA, J. A. M.; FERREIRA, M. L. **Radial Leste: composição das matrizes O/D e utilização do eixo**. Coletivo, 2012, p. 48-62.
- GOUVEIA, J. A. M.; FERREIRA, M. L.; DIAS, M. L. R. P.; POKORNY, M. S.; DIAS, E. M. **An Operational Model of Bus Terminal Management Based on Daily Passengers Demands**. In: 18th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers - CSCC14, 2014, Santorini. Anais do 18th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers - CSCC14. Santorini, 2014. v. II. p. 467-473. Disponível em: <<http://www.inase.org/library/2014/santorini/bypaper/SYSTEMS/SYSTEMS2-15.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2015.
- GS1-US. **Report on the 2009 EPC/RFID Tagging Survey for the Retail / CPG Supply Chain**. 2009. Disponível em: <<http://www.gs1us.org/about-gs1-us/media-center/press-releases/media-coverage-archive>>. Acesso em: 01 jul. 2014.
- GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. **Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions**. Elsevier, Future Generation Computer Systems, nº 29, 2013, pp. 1645-1660. Disponível em: <<http://www.buyya.com/papers/Internet-of-Things-Vision-Future2013.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2014.

GUPTA, J. **Global Sustainable Development Governance: Institutional Challenges from a Theoretical Perspective** - International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics 2, nº 4. Kluwer Academic Publishers, p. 361-362; 388. Netherlands, 2002.

GUPTA, J.; SHAH, N. H. Origin Destination Transportation Models: Methods. **Int. Jr. of Mathematical Sciences & Applications**, v. 2, ISSN 2230-9888, 2012. Disponível em: <<http://ijmsa.yolasite.com/resources/41.%20Jyoti.pdf>> Acesso em: 01 jun. 2014.

HAJJ, H. M. et al. **Synthesis of Vehicle Trip Patterns in Small Urban Areas**. HRB (Highway Research Record) n. 369, p. 181-198, 1971. Washington, DC. United States.

HANDY, S. **Planning for accessibility: In theory and practice**. Proceeding from the Access to Destination Conference. Minneapolis: UNIVERSITY OF MINNESOTA. ELSEVIER 2005. Disponível em: <http://www.des.ucdavis.edu/faculty/handy/Access_chapter.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2014.

HANSEN, W. G. How Accessibility Shapes Land Use. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 25, n. 2, p.73-76, 1959.

HALL, R. E.; BOWERMAN, B.; BRAVERMAN, J.; TAYLOR, J.; TODOSOW, H.; VON WIMMERSPERG, U. The Vision of a Smart City. In: **Second International Life Extension Technology Workshop** – Paris, France, September 2000, p. 1.

HARMELINK, M. D.; HARPER, G. C.; EDWARDS, H. M. Origin and Destination Characteristics. Trip Production Attraction Characteristics in small Cities. **Transportation Research Board**, n. 205, p. 1-19. Washington, DC, USA, 1967.

HECKEL, A. P. **Identificação por Radiofrequência (RFID) - estudo teórico e experimentação via simulação**. Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências da Computação, Centro Universitário Feevale, Novo Hamburgo, Novembro 2007.

IBM - **A Vision of smarter cities. How cities can lead the way into a prosperous and sustainable future**. Global Business Services, Government, 2009, p. 4. Disponível em: <http://www-03.ibm.com/press/attachments/IBV_Smarter_Cities_-_Final.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2014.

IBRAHIM, D. **PIC BASIC Projects** - 30 Projects Using PIC BASIC and PIC BASIC PRO. Great Britain: MPG Books, 2006.

IFSC. **Lei da Indução de Faraday** - Laboratório de Eletricidade e Magnetismo – Instituto de Física São Carlos. Universidade de São Paulo – USP. 2010.

INGRAM, D. R. The concept of accessibility: a search for an operational form. **Regional Studies**, v. 5, p. 101-107, 1971.

JONES, P.; KOPPELMAN, F.; ORFUEIL, J. P. **Activity Analysis: state-of-the-art and future directions**. In: JONES, P. (Ed), Developments in Dynamic and Activity-Based Approaches to Travel Analysis, Aldershot: Gower Publishing, 1990, p.34-55.

JONES, S. R. **Accessibility measures: a literature review**. Transport and Road Research Laboratory. Department of Transport. Laboratory Report 967, Old Wokingham Road. Crowthorne RG11 6AU, Berkshire England, 1981.

KANTER, R.M.; LITOW, S.S. **Informed and Interconnected: A Manifesto for Smarter Cities** - Harvard Business School, General Management Unit Working Paper 09-141. HARVARD. June 15, 2009, p. 2. Disponível em: <<http://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/09-141.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

KAWAMOTO, E. - **Análise de sistemas de transportes**. 2ª ed. São Carlos EESC/USP. 1994.

KHASNABIS, S.; POOLE, M. R. Synthesizing Travel Patterns for a Small Urban Areas - **Traffic Engineering**, v.45, n. 8, p. 28-30, Ago. 1975.

KOSTAKOS, V., CAMACHO, T., MANTERO, C. Wireless detection of end-to-end passenger trips on public transport buses. In: **Proceedings of the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems**, Funchal, Portugal, 2010, pp. 1795-1800.

KNEIB, E. C. **Mobilidade Urbana e Qualidade de Vida**. Dossiê Mobilidade. Revista UFG, julho, Ano XIII, nº 12, 2012, p. 72. Disponível em: <http://www.proec.ufg.br/revista_ufg/julho2012/arquivos_pdf/09.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2014.

KRISTOFFERSEN, S.; WILSON, E. M. Trip Generation Synthesis for Small and Medium Sized Cities. **Transportation Research Record**, n. 638, p. 18-25, 1977.

LAHIRI, S. **RFID Sourcebook**. [S.l.]: IBM Press, 2006. ISBN 0131851373, 97801318051375.

LALIC, M. **Física com Milan Lalic**. Aula 6, física C - Ondas Eletromagnéticas. Universidade Federal de Sergipe. CESAD, 2011

LAUTSO, K.; SPIEKERMANN, K.; WEGENER, M.; SHEPPARD, I.; STEADMAN, P.; MARTINO, A.; DOMINGO, R.; GAYDA, S. **Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability - PROPOLIS**. Final Report, Second Edition, Feb. 2004. Disponível em: <http://www.stratec.be/sites/default/files/files/C400_PROPOLIS_Abstract_Summary_1.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2014.

LEE, I.; OH, S.; MIN, J. H. **Prospect of Technology for Public Transit Planning using Smart Card Data**. Department of Railway Policy & Strategy, Korea Railroad Research Institute, 2011. Disponível em: <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/poster_lee_inmook.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2014.

LIJUN, S. et al. **Using Smart Card Data to Extract Passenger's Spatio-temporal Density and Train's Trajectory of MRT System**. National University of Cingapura, 2012.

LITMAN, T. **Social Inclusion as a Transport Planning Issue in Canada**. Victoria, BC, Victoria Transport Policy Institute, Apr. 2003. Disponível em: <http://vtpi.org/soc_ex.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2014.

LITMAN, T.; BURWELL, D. **Issues in sustainable transportation**. Int. J. Global Environment Issues, Vol. 6 No. 4, 2006, p. 331-347 - Disponível em: <http://gasfreenj.com/CTE_WEB/VPTI_SUSTAINABILITY.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2014.

MAHER, M. J. Inferences on trip matrices from observations on link volumes: A Bayesian Statistical Approach. **Transportation Research B** v. 17, n. 6, p. 435-447, 1983.

MAHMASSANI, H. S.; BEVILACQUA, O.; SINHA, K. Framework for Transferring Travel Characteristics of Small Urban Areas. **Transportation Research Record** – n.730, p. 29-34, 1979.

MARTE, C. L.; SILVA, A. L.; DANTAS, A.; AZEVEDO, D. B.; NETTO, J. C. S.; MARQUEZ, J. M.; GRILLO, J.; CERENTINI, S. A. P. **Estudo preliminar de funções ITS aplicadas na operação de sistemas BRT (ITS4BRT)**. Revista dos Transportes Públicos, ANTP, Ano 34, 1º quadrimestre, 2012. Disponível em: <http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/16FEB26D-E571-4581-B41D-F554D9C87A33.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2014.

MARTINS, V. A. **RFID (identificação por radiofrequência)**. In: TELECO, 2005, p. 4. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrfid/default.asp>>. Acesso em: 01 jul. 2014.

MATHEW, T.V.; RAO, K.V.K. **Introduction to Transportation Engineering**. NPTEL - Program India, Ch. 1, 2006. Disponível em: <http://www.cdeep.iitb.ac.in/nptel/Civil%20Engineering/Transportation%20Engg%201/01-Ltexhtml/nptel_ceTEI_L01.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2014.

MELO, M. J. V. S. **A cidade e o tráfego: uma abordagem estratégica**. Recife: Edição Universitária da UFPE, 2000, p. 126.

MELLO, A.C.V. **Potencial de captação de demanda adicional da linha dois do metropolitano do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007, 183 p.

METRÔ. **Pesquisa Origem e Destino 2007** - Região Metropolitana de São Paulo - Síntese das Informações Pesquisa domiciliar. Companhia do Metropolitano – METRÔ. São Paulo, dez. 2008. Disponível em: <http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/files/sintese_od_2007.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2014.

MILES S.B.; SARMA S.E.; WILLIAMS J.R. **RFID Technology and Applications**. New York: Cambridge University Press, ISBN-13 978-0-511-39669-4, 2008, 218 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Mobilidade urbana e desenvolvimento urbano**. 1ª Edição, novembro. Instituto Pólis, 2005, p. 3. Disponível em: <<http://www.polis.org.br/uploads/922/922.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2014.

MORENCY, C.; TRÉPANIER, M.; AGARD, B.; MARTIN, B.; QUASHIE, J. Car sharing system: what transaction datasets can tell us regarding the user behaviors? In: **10th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems - ITSC 2007**, Seattle, Washington, USA, 2008.

MOROZ, R. **Understanding radio frequency identification (RFID)**. (Passive RFID). In: RFID CANADA, 2004. Disponível em: <<http://www.rfidcanada.com/rfid.html>>. Acesso em: 21 jun. 2014.

MORRIS, J.M.; DUMBLE, P.L.; WIGAN, M.R. **Accessibility indicators for transport planning**. Transportation Research, Part A, v.13, nº 2, 1978, p. 91-109. Disponível em: <http://www.atrf.info/papers/1978/1978_Morris_Dumble_Wigan.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2014.

MORTARIE, R.; EUZÉBIO, G.L. **O custo do caos - Prejuízo ao bolso e ao meio ambiente - Cidades não suportam mais o crescimento da frota de veículos**. IPEA - Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas, Ano 6. Ed. 53, 2009. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?view=article&catid=28%3Areportagens-materias&id=1252%3Ao-custo-do-caos-prejuizo-ao-bolso-e-ao-meio-ambiente-idades-nao-suportam-mais-o-crescimento-da-frota-de-veiculos&format=pdf&option=com_content&Itemid=39>. Acesso em: 10 jul. 2014.

NAM, T.; PARDO, T.A. **Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions**. Center for Technology in Government. UNIVERSITY OF ALBANY. The Proceedings of the 12th Annual International Conference on Digital Government Research. 2011, p. 286. Disponível em: <http://www.ctg.albany.edu/publications/journals/dgo_2011_smartcity/dgo_2011_smartcity.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2014.

NASIBOGLU, E.; KUVVETLI, U.; OZKILCIK, M.; ELIYI, U. **Origin-Destination Matrix Generation Using Smart Card Data: Case Study for Izmir**. IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI2012), September 2012, P. 12-14. Disponível em: <<http://pci2012.science.az/2/13.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2014.

NAVICK, D.S.; FURTH, P.G. Distance based model for estimating a bus route Origin-Destination matrix. **Transportation Research Record**, n. 1433, p. 16-23, 1993.

NELEMS, J. J. **Qualitative Research Overview**. American Marketing Association, MarketingPower, 2001.

NETO, O. L. - **Um novo quadro institucional para os transportes públicos: condição *sine qua non* para a melhoria da mobilidade e acessibilidade metropolitana**. In: E. Santos & J. Aragão (Orgs.). Transporte em tempos de reforma: estudos sobre o transporte urbano. EDUFRN, Natal, 2004, p. 193-216.

NGUYEN, S. Estimating origin-destination matrices from observed flows. In: **Proceedings of the AIRO Conference**. Guida, Naples, 1984, p 363-368.

NOBLE, B.; POTTER, S. **Travel patterns and journey purpose**. Transport Trends, London: Department for Transport. Environment and the Regions. 1998, p. 3-14.

NOVAES, A. G. N. **Sistemas de Transportes: análise da demanda**. São Paulo: Edgard Brucher, 1996.

NISHIDA, J.K. **Identificação por rádio frequência**. Dissertação de conclusão de curso de Engenharia Elétrica Telemática, Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL, Florianópolis. 2008, p. 66. Disponível em: <http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/0/06/ProjetoFinal_Ponciano.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2014.

OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES. **Bem-estar urbano em São Paulo: desafios da maior metrópole brasileira - Moradia e mobilidade urbana em SP: desafios da maior metrópole brasileira**. INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2014 – Disponível em: <http://web.observatoriodasmetropoles.net/index.php?option=com_k2&view=item&id=744:moradia-e-mobilidade-urbana-em-sp-desafios-da-maior-metr%C3%B3pole-brasileira&Itemid=164&tmpl=component&print=1&lang=pt>. Acesso em: 13 mar. 2014.

OLIVEIRA, E. C. L.; NOGUEIRA, V. P.; BRITO, S. R. **Controle de Fluxo de Automóveis com RFID**. Engenharia da Computação em Revista. Engenharia de Computação do IESAM - Instituto de Estudos Superiores da Amazônia. Amazônia. 2008.

ONU. **World Population Prospects. The 2015 Revision**. Key Findings and Advance Tables. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. Working Paper No. ESA/P/WP.241. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. 2015. Disponível em: <http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2015.

ORILLO ASCAMA, D. H. **Radar UWB: Antena e mecanismos para detecção de pessoas**. 2010. 121 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Universidade de São Paulo, 2010.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L.G. **Modelling Transport**. 4th ed. Chichester, England: John Wiley & Sons, 2011. ISBN 978-0-470-76039-0.

PEIXOTO, L. **Sistema GS1**. GS1 Roadshow Porto, GS1Barcodes, the global language of business, 2011. Disponível em: <http://media.gs1pt.org/ficheiros/242/RoadShow_Porto-BarCodes.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2014.

PELLETIER, M. P.; TRÉPANIER, M.; MORENCY, C. **Smart Card Data in Public Transit Planning: A Review**. CIRRELT, Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation, 2009. Disponível

em:<<https://www.cirrelet.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2009-46.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2014.

RAIA JÚNIOR, A. A. **Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas**. Tese (Doutorado) – Transportes - ESCOLA DE Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2000.

RAIA JÚNIOR, A. A.; SILVA, A. N. R.; BRONDINO, N. C. M. **Comparação entre medidas de acessibilidade para aplicação em cidades brasileira de médio porte**. In: Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, 11. **Anais**. Rio de Janeiro, ANPET. v. II. 1997, p. 997-1008.

RAKHA, H.; PARAMAHAMSAN, H.; VAN AERDE, M. **Comparison of static maximum likelihood Origin-Destination formulations**. Transportation and Traffic Theory. Flow, Dynamics and Human Interaction. In 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, United States, 2005, pp 693-715. ISBN 0080446809.

RESENDE, P. T. V.; SOUSA, P. R.; SILVA, J. V. R. Proposição para o cálculo dos impactos do congestionamento na tarifação do transporte público de passageiros por ônibus em cinco capitais brasileiras. **Revista do Transporte Público - ANTP**; v. 33, p 47-68, 2013.

ROBERTI, M. **The History of RFID Technology**. RFID Journal, 2005. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?1338>>. Acesso em: 21 abr. 2014.

RHODES, D.; HILLEGASS, T. Demonstration Simplified Traffic Model for Small Urban Areas. **Transportation Research Record** n. 677, p. 76-81, 1978.

RICHARDSON, A. J.; AMPT, E. S.; MEYBURG, A. H. **Survey methods for transport planning**. Melbourne: Eucalyptus Press, 1995.

RIGBY, D., HOWLETT, D.; WOODHOUSE, P. **A Review of Indicators of Agricultural and Rural Livelihood Sustainability**. Sustainability Indicators for Natural Resource Management & Policy, Working Paper 1, Feb. 2001. ISBN: 1 902518616.

RNP. **O que é Middleware?** REDE NACIONAL DE ENSINO E PESQUISAS, Notícias RNP, 2006. Disponível em: <<http://www.rnp.br/noticias/2006/not-060926.html>>. Acesso em: 21, jun. 2014.

ROZESTRATEN, R.J.A. **Psicologia do trânsito: conceitos e processos básicos**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1988, p. 3-4.

SAGULA F. R. **Como entender as tags eletrônicas**. RFID JOURNAL BRASIL. RFID Artigos. 2012. Disponível em: <<https://brasil.rfidjournal.com/artigos/vision?9750/>>. Acesso em: 27 jun. 2014.

SALES F. L. H. **O uso de indicadores de acessibilidade na eficácia de redes estruturais de transporte urbano**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 1996.

SANGREMAN A.; CAMANHO T. **RFID - O que é RFID?** 2010. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/07_1/rfid/RFID_arquivos/o%20que%20e.htm>. Acesso em: 26 abr. 2014.

SANTANA, S. R. M. **RFID - Identificação Por Radiofrequência**. Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia da Baixada Santista em Informática com Ênfase em Gestão de Negócio. 2005, p. 2. Adaptação disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/sandra_santana/rfid_02.html>. Acesso em: 01 jul. 2014.

SANTINI, A. G. **RFID**. Curso de Sistemas de Informação, Dissertação (Mestrado). Centro Universitário de Votuporanga, SANTOS, 2006, p. 20, 38.

SANTOS, E. O.; KADOTA, D. K. **Economia do Turismo**. São Paulo: Editora Aleph, 2012.

SÃO PAULO, LEI MUNICIPAL Nº 13.241 de 12 de dezembro de 2001. **Organização dos serviços do Sistema de Transporte Coletivo de Passageiros na Cidade de São Paulo**. Disponível em:<[Http://www.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/transportes/organizacao/0017/lei13.241.doc](http://www.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/transportes/organizacao/0017/lei13.241.doc)>. Acesso em: 12 abr. 2014.

SARMA, S. E.; WEIS, S. A.; ENGELS, D. W. **RFID Systems and Security and Privacy Implications**. Auto-ID Center, November. 2002, p. 5. Disponível em: <http://Theory.lcs.mit.edu/~sweis/ches_rfid.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2014.

SCARLATO, F.C. **Metropolização de São Paulo e o Terceiro Mundo**. Sociologia, Editora IGLU, 1989.

SHAHRAM, M.; MANISH, B. **RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems**. New York: Prentice Hall PTR, 2005.

SILVA, R. A. **Um Sistema de Auxílio à Localização de Etiquetas RFID em Ambientes Internos**. 2008. 113 p. - Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2008.

SOUSA, M. F. **RFID e suas aplicações** - um estudo de caso com prateleiras inteligentes. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

SPIESS, H. **A maximum likelihood model for estimating origin-destination matrices**. Transport. Res. B 21, 1987, p. 395-412.

STOPHER, P. R.; SHILLITO, L.; GROBER, D. T.; STOPHER, H. M. **On-Board Bus Surveys: No Question Asked RFID**. Transportation Research Record, 1085, TRB, National Council, Washington, D. C. 1985, p. 50-57

T.C.U. **Mobilidade Urbana**. Tribunal de Contas da União, Contas do Governo. Áreas Temáticas, ficha 5.2cor, 2010. Disponível em: <http://portal2.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/comunidades/contas/contas_governo/contas_10/fichas/Ficha%205.2_cor.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2014.

TAGORE, M. R.; SIKDAR, P.K. A new accessibility measure accounting mobility parameters. In: **seventh World Conference on Transport Research**. UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES, Sydney, Australia, 1995.

TAPARELLI, C. H. A. **A evolução tecnológica do rádio** - Revista USP, n.56, p.16-21, fevereiro 2002-2003. Disponível em: <<http://www.usp.br/revistausp/56/03-carlos.pdf>>. Acesso em: 23 de mai. 2014.

TCQSM. TRANSIT CAPACITY AND QUALITY OF SERVICE MANUAL TCRP Report 100, 2nd ed. Federal Transit Administration, Part 7/Stop Station, And Terminal Capacity, Chapter 3 - **Passenger Circulation and Level of Service**, 2003, p. 7-15.

TELECO. **Padrões de Middleware para TV Digital: Middleware**. Inteligência em Telecomunicações, Tutoriais Rádio e TV, 2013. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtvdpadrao/pagina_3.asp>. Acesso em: 21 jun. 2014.

TfL. **London Overground Impact Study**. Rail and Underground Panel, Transport for London. Novembro 2011. Disponível em: <http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/Item05-RUP-16-11-2011-London-Overground-Impact-Study.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2014.

TOPPETA, D. **The Smart City vision: How Innovation and ICT can build smart, “liveable”, sustainable cities** - Think Report 005/2010 – P. 4. Disponível em: <<http://www.thinkininnovation.org/en/portfol/the-smart-city-vision-how-innovation-and-ict-can-build-smart-liveable-sustainable-cities-2-2/>>. Acesso em: 11 mai. 2014.

TOKUYAMA, H. **Intelligent transportation systems in Japan**. Public Roads volume 60, Issue 2, p. 41-45. Federal Highway Administration, 1996. ISSN: 0033-3735.

UN-HABITAT. **Coalition for Sustainable Urbanization**. Partnership Commitments for Implementing Agenda 21 - Progress Report (unedited) for Discussion at the World Summit on Sustainable Development in Johannesburg. August 2002, p. 4. Disponível em: <<http://unhabitat.org/?wpdmact=process&did=MTAzMC5ob3RsaW5r>>. Acesso em: 24 jun. 2014

VAN ZUYLEN, J. H.; WILLUMSEN, L. G. **The most likely trip matrix estimated from traffic counts**. Transportation Research 14B, 1980, p. 281-293. Disponível em: <<http://www2.informatik.hu-berlin.de/alkox/lehre/lvws0809/verkehr/tripmatrix.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2014.

VASCONCELLOS, E. A. **O que é o trânsito**. São Paulo: Brasiliense. 1985, p. 11, 26-27.

_____. **Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas**. 3ª ed. São Paulo: Editora Annablume. 2000, p. 218.

_____. **Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas**. 3a. ed. São Paulo: Editora Annablume, 2001. P.40-52. ISBN 85-7419-184-1.

VASCONCELLOS, E. A.; LIMA, I. M. O. **Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: uma Resenha das Experiências Internacionais**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA. Texto para discussão, n. 586, Brasília, 1998. Disponível em:

<http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_0586.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2014.

XAVIER, J. C.; BOARETO, R. **The Implementation of Brazil Sustainable Urban Mobility Policy**. The 9th International Conference on Competition and Ownership in Land Passenger Transport - THREDBO 9 - Lisbon, Portugal 5-9 September, 2005. Disponível em: <http://www.thredbo-conference-series.org/downloads/thredbo9_papers/thredbo9-workshopF-Xavier-Boareto.pdf>.

Acesso em: 02 Jul. 2014.

WANG, W.; ATTANUCCI, J. P.; WILSON, H. M. **Bus Passenger Origin-Destination Estimation and Related Analyses Using Automated Data Collection Systems**. Journal of Public Transportation, Vol. 14, Nº 4, 2011. Disponível em:

<<http://www.nctr.usf.edu/wp-content/uploads/2011/12/Wang.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2014.

WARDMAN, M. **Public Transport Values of Time**. White Rose University Consortium, Institute of Transport Studies. UNIVERSITY OF LEEDS, Sheffield & York, Working Paper 564, 2001. Disponível em:

<http://eprints.whiterose.ac.uk/2062/1/ITS37_WP564_uploadable.pdf>. Acesso em: 17 Jul. 2014.

WASHBURN, D.; SINDHU U. **Helping CIOs Understand "Smart City" Initiatives - defining the smart city, its drivers, and the role of the CIO** – CAMBRIDGE, MA: Forrester Research, Inc. Feb. 2010. p. 5. Disponível em: <

http://www.itworldcanada.com/archive/Themes/Hubs/Brainstorm/forrester_help_cios_smart_city.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2014.

WILLIAMS, B. **Intelligent Transport System Standards**. [s.l.]: ARTECH House, 2008.

WILLUMSEN, L. G. **Simplified transport models based on traffic counts**.

Transportation, n.10, p. 257-278, 1981.

WU, N. C.; NYSTROM, M. A.; LIN, H. C. Y. **Challenges to global RFID adoption**. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 10 Jul. 2014.

ZHAO, J. **The Planning and Analysis Implications of Automated Data Collection System: Rail Transit OD Matrix Inference and Path Choice Modeling Examples**. [S. l.]: Massachusetts Institute of Technology, 2004

ZARYOUNI, M. R.; KANNEL, E. J. A Synthesized Trip Forecasting Model for Small and Medium Sized Urban Areas. **Transportation Research Record**, n. 569, p. 95-97, 1976.

ZEGRAS, P. C.; BIRK, M. L. **Moving Towards Integrated Transport Planning: Energy, Environment, and Mobility in Four Asian Cities**. International Institute for

Energy Conservation. Transportation Research Record, MASSACHUSETTS
INSTITUTE OF TECHNOLOGY - MIT. 1993.

GLOSSÁRIO

AAR - *American Association Railroads* (Associação de Ferrovias Americanas). É uma associação que atua no Estados Unidos para organizar, estabelecer normas e padronizar a operação das ferrovias.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. A ABNT é responsável pela publicação das Normas Brasileiras (ABNT NBR), elaboradas por seus Comitês Brasileiros (ABNT/CB), Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE).

ACMA - *Australian Communications and Média Authority*. É uma autoridade estatutária do Governo australiano e tem a tarefa de garantir a mídia e comunicações para prestar informações aos australianos. Faz isso por meio de legislações diversas, regulamentos e normas.

AES – *Advanced Encryption Standard*. É uma especificação para a criptografia de dados eletrônicos.

AFC - *Automatic Fare Collection* (Pagamento Automático de Tarifa). São sistemas de cobrança de tarifa que contêm uma coleção de componentes que automatizam o sistema de bilhetagem de uma rede de transporte público; - uma versão automatizada de cobrança manual.

AIDC - *Automatic Identification and Data Capture* (Identificação automática e captura de dados). São sistemas para captura automática de dados e identificação.

AML – *Ambient Intelligence* (Inteligência ambiental). É um conceito no qual os seres humanos estão cercados pela computação e tecnologias de redes por todo o segmento de seu ambiente.

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações do Brasil. É uma entidade integrante da Administração Pública Federal indireta, submetida a regime autárquico especial e vinculada ao Ministério das Comunicações.

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. É uma entidade civil, sem fins lucrativos, voltada ao setor de transporte público e do trânsito urbano do Brasil e que tem, por objetivo, desenvolver e difundir conhecimentos, visando seu contínuo aprimoramento.

APC – *Automatic Passengers Counting* (Contador Automático de Passageiros). Sistemas que contam o número de passageiros que embarcam e desembarcam dos ônibus, calculando a lotação.

ARIB - *Association of Radio Industries and Business*. A associação, com apoio do Ministério dos Assuntos Internos e Comunicações do Japão, realiza estudos, pesquisa e desenvolvimento e trabalho de normalização relacionada com a utilização eficaz de ondas de rádio nos campos das telecomunicações e de radiodifusão.

AUTO-ID – *Auto-IDentification* (Identificação automática). Refere-se aos métodos de identificação automática de objetos, coletando dados sobre eles, e adicionando esses dados diretamente a sistemas de computador, sem envolvimento humano para isto.

AVL – *Automatic Vehicle Location* (Localizador Automático de Veículos). É um meio para determinar e transmitir a localização geográfica de um veículo automaticamente. A localização é determinada por GPS, e transmitida para um centro de controle por meio de SMS (*Short Message Service*) ou GPRS (*Short for General Packet Radio Service*). Os requisitos de largura de banda baixa também permitem transportar dados de telemetria do veículo. Outras opções para a determinação da localização real, por exemplo, em ambientes onde a localização GPS é pobre, podem ser estimadas por navegação inercial e combinações entre sistemas on-line e off-line.

BIG DATA – Megadados. Em tecnologia da informação, refere-se a um grande armazenamento de dados, com maior velocidade. O Big Data baseia-se em cinco "V", ou seja: velocidade, volume, variedade, veracidade e valor.

Brasil-ID - Sistema de Identificação, Rastreamento e Autenticação de Mercadorias. Sistema baseado na tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) e outras, de comunicação sem fio a elas relacionadas. Visa estabelecer um padrão único para implementação de Identificação por Radiofrequência a ser utilizado em produtos e documentos fiscais em circulação pelo país. Prevê, ainda, a estruturação de serviços de rastreamento e verificação de autenticidade.

BU - Bilhete Único. Nome dado aos cartões inteligentes utilizados pelos usuários do transporte público de São Paulo para pagar tarifa.

CAN-Bus – Acrônimo inglês das palavras *Controller Area Network*. É um padrão de barramento nos veículos, concebido para permitir que os microcontroladores e dispositivos possam comunicar uns com os outros em aplicações. É um protocolo com base em mensagens, concebidos originalmente para aplicações em automóveis.

CEN – *Comité Européen de Normalisation* (Comitê Europeu de Normalização). É uma organização sem fins lucrativos cuja missão é promover a economia europeia no comércio global, o bem-estar dos cidadãos e meio ambiente, proporcionando uma infraestrutura eficiente para o desenvolvimento, manutenção e distribuição de conjuntos coerentes de normas e especificações.

CEPT – *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations* (Conferência Europeia das Administrações de Correios e Telecomunicações). Criada em 1959, suas atividades abrangem a cooperação em questões de normalização comerciais, operacionais, regulamentares e técnicas dos serviços postais e comunicações.

CERP-IoT – *Cluster of European Research Projects* (Cluster de Pesquisa e Projetos Europeus para Internet das Coisas). Reúne projetos financiados pela união europeia com o objetivo de definir uma visão comum sobre as tecnologias que envolvem a

internet das coisas, para construir um consenso universal sobre as maneiras de realizar a Internet das coisas na Europa.

CDMA - *Code Division Multiple Access*. (Acesso Múltiplo com Divisão de Código).

CONFAZ - Conselho Nacional de Política Fazendária. A finalidade do órgão é promover ações necessárias à elaboração de políticas e harmonização de procedimentos e normas inerentes ao exercício da competência tributária dos Estados e do Distrito Federal na concessão, revogação e regulamentação de benefícios fiscais referentes ao Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS).

CTA - *Chicago Transit Authority*. Agência governamental independente criada por legislação estadual nos Estados Unidos. É operadora de trânsito na cidade de Chicago, segundo maior sistema de transporte público do país e abrange a cidade de Chicago e 35 subúrbios circunvizinhos.

CVO – *Commercial Vehicle Operation* (Sistemas ITS para Operação Comercial de Frotas). Utiliza sistemas de posicionamento global (GPS - usa satélites para localizar veículos) e outras tecnologias, principalmente para aumentar a eficiência da movimentação de carga e gestão de frotas.

D.O.U. - Diário Oficial da União. O Diário Oficial da União é um dos veículos de comunicação pelo qual a Imprensa Nacional tem de tornar público todo e qualquer assunto acerca do âmbito federal. A Imprensa Nacional é vinculada à Presidência da República Federativa do Brasil.

dBm - Decibel miliwatt - é uma unidade de medida que indica a proporção de uma quantidade física (geralmente energia ou intensidade) utilizada principalmente em telecomunicações para expressar uma potência absoluta.

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. São objetivos básicos estabelecer diretrizes da Política Nacional de Trânsito, com vistas à segurança, à fluidez, ao conforto, à defesa ambiental e à educação para o trânsito, e fiscalizar seu cumprimento.

DNA - *Deoxyribonucleic Acid* (Ácido desoxirribonucleico - ADN, em português) É um composto orgânico cujas moléculas contêm as instruções genéticas que coordenam o desenvolvimento e funcionamento de todos os seres vivos.

HF – *High Frequency* (Alta Frequência). Alta frequência (HF) é a designação para a faixa de ondas eletromagnéticas de frequência de rádio (ondas de rádio) entre 3 e 30 MHz. A banda HF é uma parte importante da banda de frequências de ondas curtas, assim, a comunicação nestas frequências é comumente chamada de ondas curtas de rádio. A banda é usada por estações de radiodifusão internacionais em ondas curtas (2,310-25,820 MHz), por comunicação da aviação, estações de tempo do governo, estações meteorológicas, serviços de rádio e banda amadora, entre outros usos.

EAN - *European Article Number*. Os códigos de barras EAN são usados em todo o mundo para a identificação de produtos. Atualmente, são codificados em EAN-13,

utilizados em códigos com treze números impressos em etiquetas dos produtos. O símbolo codifica treze números, sendo que doze identificam dados referentes ao produto ao qual está afixado e mais um dígito verificador.

EAS – *Electronic Article Surveillance* (Vigilância Eletrônica de Produtos). É um método tecnológico para a prevenção de furtos em lojas de varejo, furto de livros de bibliotecas ou remoção de bens em edifícios de escritórios. Etiquetas especiais são fixadas nas mercadorias, livros ou objetos. Estas etiquetas são removidas ou desativadas pelos funcionários quando o item está devidamente comprado ou tem autorização para ser retirado.

EEPROM - *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory* (Memória Somente de Leitura Programável e Apagável Eletricamente). É utilizada para armazenar dados de um programa de computador. Os dados podem ser apagados e regravados, usando um dispositivo de programação.

EPROM - *Erasable Programmable Read Only Memory* (Memória Somente de Leitura Programável e Apagável). Similar à ROM é uma memória não volátil programada por dispositivo eletrônico e seu conteúdo pode ser apagado.

ERTICO – *European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization* (Organização para Coordenação de Transportes Rodoviários e Implementação de Telemática). Fundada em 1991 como uma plataforma para a cooperação de todas as partes interessadas para desenvolver e implantar ITS na Europa. Tem uma centena de parceiros públicos e privados e abrange oito setores diferentes, todos trabalhando para trazer inteligência para a mobilidade de pessoas e bens.

ES – *Enterprise Systems* (Sistemas Empresariais). São sistemas corporativos compostos por pacotes de software para aplicação em grande escala e que suportam os processos de negócios, fluxos de informação, relatórios e análise de dados em organizações complexas.

ETC - *Electronic Toll Collect* (Pagamento Eletrônico em Pedágios). Cobrança eletrônica em pedágios que tem o objetivo de eliminar o atraso em estradas por via eletrônica. Determina se os carros que passam estão matriculados no programa, alerta aplicadores para aqueles que não são, e eletronicamente debita as contas dos proprietários de carros registrados sem exigir-lhes parada.

ETSI - *European Telecommunication Standards Institute* (Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações). O instituto produz normas globalmente aplicáveis para Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), incluindo telefonia fixa, móvel, rádio, tecnologias de transmissão e de Internet.

FCC – *Federal Communication Commission* (Comissão Federal de Comunicações nos EUA). Regula comunicações por rádio, televisão, fio, satélite e por cabo em todos os 50 estados norte-americanos. É uma agência independente do governo dos EUA, mas, supervisionado pelo Congresso. É a principal autoridade dos Estados Unidos para a lei das comunicações, regulação e inovação tecnológica.

FR – Fator de Renovação. Indicador que mede a quantidade de vezes em que os lugares dos ônibus são ocupados durante uma viagem. É o quociente entre o total de passageiros transportados na meia viagem e a ocupação máxima do ônibus durante esta meia viagem. É obtido por meio de pesquisa sobre/desce de passageiros ou de pesquisa visual. Sua finalidade é demonstrar o percentual de renovação de passageiros no interior do ônibus.

FRAM - *Ferro-magnetic Random Access Memory*. É um tipo de memória não volátil de computador. É uma forma de tecnologia de armazenamento de dados na qual eles são gravados em pequenos cartões ou faixas de material revestido com filme magnético de óxido de ferro.

GAITS - *Global Advanced Information and Telecommunications Society*. Criada em agosto de 1994, no Japão, liderada pelo primeiro-ministro e o governo japonês, lançou suas "orientações básicas sobre a promoção de informações avançadas em telecomunicações". Essas diretrizes estabelecem uma meta para desenvolver rapidamente uma infraestrutura de informação e telecomunicações de alto desempenho para acelerar e promover o desenvolvimento de uma sociedade em que a informação e o conhecimento são livremente gerados, transmitidos e compartilhados. Sob essas diretrizes, seis campos são colocados sob a liderança do governo central. Os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) constituem um destes seis campos.

GS1 - *Global System One*. Associação multissetorial sem fins lucrativos, que implementa padrões de identificação de produtos, como código de barras e EPC/RFID, colaborando para o processo de automação desde a matéria-prima até o consumidor final. Os padrões GS1 são utilizados em 150 países, com mais de um milhão de empresas associadas.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. É uma entidade da administração pública federal, vinculada ao Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão e se constitui no principal provedor de dados e informações do País, que atendem às necessidades dos mais diversos segmentos da sociedade civil, bem como dos órgãos das esferas governamentais federal, estadual e municipal.

IEEE - *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (Instituto de Engenharia Elétrica). É a maior sociedade técnica profissional do mundo dedicada ao avanço da inovação e excelência tecnológica. É projetada para servir aos profissionais envolvidos em todos os aspectos dos campos de engenharia e computação eletrônica, elétrica e áreas afins da ciência e da tecnologia. O propósito do IEEE é promover a inovação tecnológica e excelência nestes setores, de forma a ser reconhecido, universalmente, com contribuições de tecnologia e de profissionais técnicos na melhoria das condições globais.

IPEA - Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas. O Instituto é uma fundação pública federal vinculada à Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Suas atividades de pesquisa fornecem suporte técnico e institucional às ações governamentais para a formulação e reformulação de políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros.

ISM – *Industrial Scientific and Medical* (banda de rádio Industrial, Científica e Médica). Refere-se a um grupo de bandas de rádio ou partes do espectro de rádio que são internacionalmente reservadas para o uso de rádio frequência (RF) de energia e destinam-se a exigências científicas, médicas e industriais, em vez de comunicações. Bandas ISM são, geralmente, faixas de frequências abertas, que variam de acordo com diferentes regiões e autorizações. A banda ISM de 2,54 GHz é uma faixa comumente aceita para as operações em todo o mundo. Os fornos de microondas, telefones sem fio, aparelhos médicos de diatermia, radares militares e aquecedores industriais são apenas alguns dos equipamentos que fazem uso da banda ISM.

ISO - *International Organization for Standardization* (União Internacional das Instituições Nacionais de Padronizações). Com sede em Genebra, Suíça, é uma organização não governamental independente e maior desenvolvedora de Normas Internacionais, criando especificações de classe mundial para produtos, serviços e sistemas, a fim de garantir a qualidade, segurança e eficiência.

ITS – *Intelligent Transportation System* (Sistemas Inteligentes de Transporte). Os Sistemas de Transportes Inteligentes consistem na aplicação de um conjunto de tecnologias em constante evolução tendo em vista a solução de problemas comuns do transporte, como a falta de informação e de planejamento, os congestionamentos, as contingências, etc.; utilizam produtos e serviços que usam informações e comunicação avançadas para melhorar a segurança e a mobilidade.

ITS América - *Intelligent Transportation Society of America*. É uma organização norte-americana dedicada ao avanço da investigação, desenvolvimento e implantação de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) para melhorar o sistema de transporte terrestre do país. Fundada em 1991, a adesão da ITS América inclui mais de 450 órgãos públicos, empresas privadas e instituições acadêmicas e de pesquisa.

ITSS - *Intelligent Transportation Systems Society*. É uma organização que, desde 1999, desenvolve aspectos teóricos, experimentais e operacionais das tecnologias de engenharia e de informação elétrica e eletrônica aplicada a ITS e rege-se de acordo com a Constituição e Estatutos do Instituto de Engenheiros IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

ITU - *International Telecommunication Union*. É uma organização baseada em parcerias público-privadas e conta, atualmente, com a adesão de países e entidades do setor privado e instituições acadêmicas. ITU está sediada em Genebra, na Suíça, e tem doze centros regionais e locais ao redor do mundo. É um fórum global por meio do qual as partes trabalham para um consenso sobre uma ampla gama de questões que afetam a direção futura da indústria de TIC.

IVHS - *Intelligent Vehicle-Highway Systems*. É um programa norte americano para fazer melhorias significativas em mobilidade, segurança rodoviária e produtividade por meio da construção de sistemas de transporte que se apoiam em tecnologias eletrônicas avançadas e software de controle. O termo se aplica-se a sistemas de transporte que envolvem aplicações de vigilância avançada, comunicações,

computador, monitor, tecnologias de processo e controle integrados, tanto no veículo como nas rodovias.

LF – *Low Frequency* (Baixa Frequência). É a designação para frequências de rádio (RF) na faixa de 30 kHz-300 kHz. Como os seus comprimentos de onda variam entre um e dez km, podem viajar a longas distâncias.

MF – *Microwave Frequency* (Frequência de Microondas). As microondas são uma forma de radiação eletromagnética com comprimentos de onda que vão desde um metro a um milímetro; com frequências de 300 MHz (100 cm) e 300 GHz (0,1 cm).

MITI - *Ministry of International Trade and Industry* (Ministério da Indústria e Comércio Internacional do Japão). Foi um dos órgãos mais poderosos do Governo do Japão. No auge de sua influência, ele efetivamente participou de grande parte da política industrial japonesa. Em 2001, seu papel foi assumido pelo Ministério da Economia, Comércio e Indústria (METI).

NL – Nível de Lotação. É uma medida para obter a quantidade de passageiros em pé por metro quadrado em um determinado local. É bastante utilizado no setor de transporte coletivo para fiscalizar a qualidade do serviço ou para dimensionar operações.

ONU – Organização das Nações Unidas. É uma organização internacional cujo objetivo declarado é facilitar a cooperação em matéria de direito internacional, segurança internacional, desenvolvimento econômico, progresso social, direitos humanos e a realização da paz mundial.

PED - Ponto de Embarque e Desembarque. Local pré-definido e demarcado onde os usuários do transporte público embarcam e desembarcam dos ônibus. É considerado como ponto de acesso dos usuários aos serviços do sistema de transporte coletivo.

PESQUISA O/D - Pesquisa Origem/Destino. Tem por objetivo o levantamento do volume e das características atuais dos deslocamentos realizados pela população em suas atividades diárias, em uma aglomeração urbana. Esse levantamento procura estabelecer relações quantitativas entre as viagens realizadas e diversas outras variáveis, como características socioeconômicas, aspectos físicos e urbanos da ocupação, de forma a fazer projeções futuras para os desejos de deslocamentos da população. Os resultados da pesquisa produzem uma matriz de Origem/Destino, que identifica as principais demandas de mobilidade urbana da cidade.

PLC – *Programmable Logic Controller* (Controlador Lógico Programável). É equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com aplicações industriais. Baseado em um microprocessador que desempenha funções de controle por meio de softwares desenvolvidos pelo usuário, é capaz de armazenar internamente instruções e implementar funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos. É

amplamente utilizado na indústria para o controle e em diversos níveis de complexidade.

POS - *Point of Sale* ou *Point of Service* (Ponto de Venda ou Ponto de Serviço). É caracterizado como um local onde há disponibilidade de venda ou oferecimento de serviço. Pode ser uma caixa registradora em uma loja, ou outro local onde ocorre uma transação de venda. Pode ser também, máquinas de cartão de crédito e outros terminais eletrônicos de vendas.

PROMETHEUS - *PROgram for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety*. Foi um programa iniciado em 1986 para o tráfego europeu como uma iniciativa pan-europeia destinada a melhorar a força competitiva da Europa, estimulando o desenvolvimento em áreas como tecnologia da informação, telecomunicações, robótica e tecnologia de transporte.

RACS - *Road/Automobile Communication System*. Foi um projeto japonês que estudou sistemas de comunicação entre veículos, rodovias e motoristas, composto por equipamentos relacionados ao computador de bordo em veículos, dispositivos emissores de sinais utilizando computação centralizada. O sistema interligou comunicações de rádio, semáforos e computador de bordo em veículos.

RAM – *Random Access Memory* (Memória de Acesso Aleatório). É uma memória volátil de propósito geral que guarda os dados que estão em uso corrente pelo programa.

Reader RFID – Leitor de RFID. É um equipamento transmissor/receptor utilizado para reconhecer as TAG que são compatíveis com seu sistema, para energizá-las quando for necessário o uso dessa energia, estabelecer comunicações, fornecer informação, recuperar dados armazenados e transmiti-los ao sistema de informação da empresa.

RF – *Radio Frequency* (Radiofrequência). É caracterizada por uma faixa de oscilação de frequências no intervalo de cerca de 3 kHz a 300 GHz, que corresponde à frequência das ondas de rádio, e às correntes alternadas que transportam os sinais de rádio.

RFID - *Radio Frequency IDentification* (Identificação por Radiofrequência). Refere-se a uma tecnologia de identificação automática que utiliza ondas de radiofrequência para comunicar emissores de informações, chamados de TAG, com dispositivos designados leitores, que captam a informação.

RNP - Rede Nacional de Pesquisa. Desde 2002, é uma Organização Social vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil e mantida em conjunto com os ministérios da Educação, Cultura e Saúde. É uma instituição que promove conhecimento e articulação, voltada para a viabilização e a gestão de soluções inovadoras de interesse público, utilizando tecnologia da informação e comunicação em redes avançadas de educação e pesquisa.

ROM - *Read Only Memory* (Memória Somente de Leitura). Possui dados fixos armazenados. É programada na fábrica e seu conteúdo não pode ser alterado.

RW – *Read-Write memory* (Memória de Leitura e Escrita). Possui dados armazenados que podem ser lidos e modificados pelo computador, pois permite que a informação seja armazenada ou acessada em qualquer ordem.

SAW – *Surface Acoustic Wave* (Onda acústica de superfície). Uma onda acústica que viaja ao longo da superfície de um material, que, por sua vez, afeta sua amplitude e velocidade.

SBE – Sistema de Bilhetagem Eletrônica. É a terminologia empregada para representar um conjunto de elementos de tecnologia englobando: organização; política tarifária e recursos humanos envolvidos na arrecadação, distribuição e controle das receitas provenientes de um sistema de cobrança de tarifas. Basicamente, o sistema de bilhetagem eletrônica consiste na comercialização e distribuição de dispositivos eletrônicos ou magnéticos portáteis (cartões, bilhetes ou fichas) que gerenciam créditos de viagens a serem realizadas pelos usuários do sistema de transporte coletivo.

SPTRANS - São Paulo Transporte S.A. É a empresa contratada pela Secretaria Municipal de Transporte (SMT) da prefeitura de São Paulo, para a gestão do sistema de transporte público por ônibus. A empresa supervisiona todas as linhas de ônibus municipais e é responsável pelo planejamento, gerenciamento e fiscalização dos serviços.

T.C.U. – Tribunal de Contas da União. É uma instituição brasileira prevista na Constituição Federal para exercer a fiscalização contábil, financeira, orçamentária, operacional e patrimonial da União e das entidades da administração direta e indireta, quanto à legalidade, à legitimidade e à economicidade e a fiscalização da aplicação das subvenções e da renúncia de receitas, com autonomia administrativa, financeira e orçamentária. O tribunal não está ligado diretamente a nenhum poder, o que faz com que seja um órgão independente.

TAG-RFID - São chamadas de etiquetas inteligentes (*smart labels*), etiquetas RFID ou, simplesmente, TAG. É um transponder que pode ser miniaturizado e colocado em uma pessoa, animal, equipamento, embalagem ou produto, dentre outros. Contêm chips de silício e antena que lhes permite responder aos sinais de rádio enviados por uma base transmissora (leitores RFID).

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação. É um termo geral que consiste em todos os meios técnicos usados para tratar a informação e auxiliar na comunicação, o que inclui o hardware de computadores, rede, celulares, bem como os softwares necessários. Podem ser entendidas como um conjunto de recursos tecnológicos integrados entre si, que proporcionam, por meio das funções de hardware, software e telecomunicações, a automação e comunicação dos processos de negócios, da pesquisa científica e de ensino e aprendizagem.

TIRIS - *Texas Instruments Registration and Identification System*. Divisão da empresa Texas Instruments responsável pela produção e desenvolvimento da RFID, com o objetivo de realizar pesquisas avançadas sobre a tecnologia.

UCC - *Uniform Code Council*. Organização que tinha a missão de estabelecer e promover padrões para a indústria na identificação de produtos. Passou a ser chamada de GS1 em 2005, e a partir daí, efetivamente, tornou-se referência global para os padrões UPC e EAN.

UE - União Europeia. A União Europeia é uma parceria econômica e política, constituída por 28 países europeus, que, em conjunto, abarcam uma grande parte do continente europeu. Um dos objetivos principais da UE é promover os direitos humanos, tanto na União como no resto do mundo.

UHF - *Ultra High Frequency* (Ultra Alta Frequência). São radiofrequências na faixa entre 300 MHz e 3 GHz. Ondas de rádio UHF propagam-se, principalmente, pela linha de visão; elas são bloqueadas por montanhas e grandes edifícios, embora a transmissão através das paredes do edifício seja suficiente para a recepção. Elas são usadas para transmissão de televisão, telefones celulares, incluindo comunicação por satélite GPS, serviços de rádio de uso pessoal, incluindo Wi-Fi e Bluetooth, walkie-talkies, telefones sem fio, e inúmeras outras aplicações.

ULA - Unidade Lógica Aritmética. A unidade lógica e aritmética (ULA) ou em inglês *Arithmetic Logic Unit* (ALU) é um circuito digital que realiza operações lógicas e aritméticas e constitui-se como peça fundamental da Unidade Central de Processamento (UCP). A ULA executa as principais operações lógicas e aritméticas do computador.

UPC – *Universal Product Code* (Código Universal do Produto). É uma simbologia de um tipo específico de código de barras utilizado nos Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Austrália, Nova Zelândia, e em outros países para rastreamento de itens em lojas de comércio. A estrutura de dados segue a especificação global da GS1, que é baseada em padrões internacionais.

UV – Radiação Ultravioleta. É uma radiação eletromagnética com um comprimento de onda menor que a da luz visível e maior que a dos raios X. O nome significa mais alta que (além do) violeta (do latim ultra), pelo fato de que o violeta é a cor visível com comprimento de onda mais curto e que apresenta maior frequência.

VICS - *Vehicle Information and Communication System Centre*. É um sistema de comunicação de informações sobre o tráfego de automóveis, congestionamentos e legislação que podem ser interpretadas por equipamentos de navegação em veículos. O sistema remonta a 1996, quando o serviço começou no Japão e, atualmente, o número anual de veículos que recebem a informação deste centro é cerca de 3 milhões, indicando a popularização no uso do serviço.

WORM - *Write Once Read Many*. É uma tecnologia de armazenamento de dados em disco que permite que as informações sejam gravadas uma única vez e impede que os dados sejam alterados ou apagados. Devido a esta característica, dispositivos WORM têm sido muito utilizados para os fins de arquivamento de dados e informações nas organizações. Os dados são gravados em um disco WORM com um laser de baixa potência que faz marcas permanentes na sua superfície.