



RAUL MARIANO CARDOSO

**Internet das Coisas aplicada a Sistemas de
Transportes Inteligentes. Estudo de caso em
controle de acesso.**

19/2014

Campinas

2013

i



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

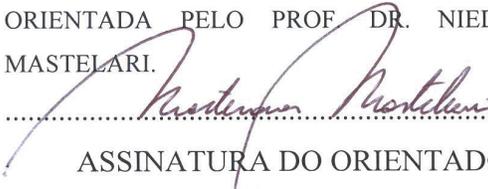
RAUL MARIANO CARDOSO

**Internet das Coisas aplicada a Sistemas de
Transportes Inteligentes: Estudo de
caso em controle de acesso.**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre(a) em Engenharia Mecânica, na Área de Projeto Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Niederauer Mastelari

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO
ALUNO RAUL MARIANO CARDOSO, E
ORIENTADA PELO PROF. DR. NIEDERAUER
MASTELARI.


.....
ASSINATURA DO ORIENTADOR

Campinas

2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

C179i Cardoso, Raul Mariano, 1987-
Internet das coisas aplicada a sistemas de transportes inteligentes : estudo de caso em controle de acesso / Raul Mariano Cardoso. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Niederauer Mastelari.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Sistemas embarcados. 2. Engenharia de tráfego. 3. Sistemas inteligentes de controle. I. Mastelari, Niederauer. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Internet of things applied to intelligent transportation systems : case study of access control

Palavras-chave em inglês:

Embedded systems

Traffic engineering

Intelligent control systems

Área de concentração: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora:

Niederauer Mastelari [Orientador]

João Mauricio Rosario

Gean Davis Breda

Data de defesa: 06-12-2013

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

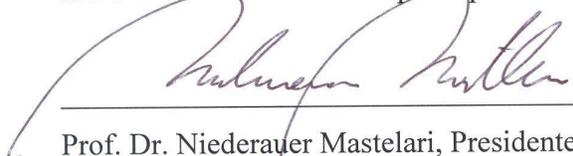
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADEMICO

**Internet das Coisas aplicada a Sistemas de
Transportes Inteligentes: Estudo de
caso em controle de acesso.**

Autor: Raul Mariano Cardoso

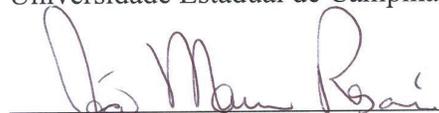
Orientador: Prof. Dr. Niederauer Mastelari

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Niederauer Mastelari, Presidente

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica



Prof. Dr. João Mauricio Rosário

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica



Prof. Dr. Gean Davis Breda

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação

Campinas, 06 de dezembro de 2013

Dedico este trabalho a todos que sonham com um mundo melhor, e não se contentando em esperar as coisas mudarem por elas mesmas, vai lá e faz!

Agradecimentos

Agradeço, antes de tudo, a todos que me ajudaram diretamente na execução deste projeto. Ao amigo Murilo Frônio Bássora que não poupou esforços para me ajudar em pontos que tive dificuldade. Ao professor e orientador Niederauer Mastelari, pela confiança no trabalho e pelos conselhos ao decorrer da execução. À minha namorada Isabelle Geerdink que sempre me apoiou em meus projetos, me acompanhou em noites mal dormidas, e sempre foi a pedra angular de minha vida.

Agradeço também aos amigos que me ajudaram de forma indireta. Aos meus sócios, Guilherme Andrigueti e Felipe Pirotta, que compartilham das ideias e ideais, e sempre foram solícitos e compreensíveis com o projeto.

Por fim, às pessoas que sempre me ajudam, e sempre irão me ajudar em minha vida. Aos meus pais, Valéria e José Paulo, que nunca pouparam esforços para que eu realize meus sonhos. Ao meu irmão, Felipe, que é fonte da minha inspiração e de meu cuidado.

Obrigado a todos vocês. Nada irá apagar a gratidão que sinto pelo esforço que dispenderam em minha caminhada.

*Some look at things that are, and ask why. I dream of things that never were and ask why
not?*

(George Bernard Shaw)

Resumo

Os computadores como conhecemos não são mais a maioria de dispositivos que se comunicam utilizando a Internet. Há alguns anos uma tendência pode ser observada neste sentido: “coisas” recebem pequenos computadores, e são representadas virtualmente, gerando informações de valor aos seus usuários. Esta nova fase de desenvolvimento da sociedade da informação é conhecida como “Internet das Coisas” e tem afetado tanto a relação das pessoas com a vida cotidiana, quanto os modelos de negócio correntes. Este trabalho mostra como esta tendência tecnológica, inserida no contexto dos Sistemas de Transportes, pode gerar aplicações de grande relevância.

Com este objetivo, metodologias que pudessem embasar o projeto foram buscadas. Um modelo arquitetural de referência foi utilizado para embasar o projeto e design de um sistema distribuído focado em aplicações específicas. A tecnologia RFID foi utilizada, com leitores e etiquetas eletrônicas, para projetar um arranjo de dispositivos que identifique os veículos e detecte sua presença nas entradas e saídas de um local restrito de interesse. Microcontroladores de baixo custo, de código aberto, tanto em hardware quanto em software, e com capacidade de se comunicar através da Internet também foram definidos por este projeto.

Localmente, estes dispositivos filtram informações, mantêm bases de dados reduzidas, monitoram sensores e controlam atuadores. Para gerenciar os dispositivos desta rede, é proposta a utilização de serviços na rede, estabelecendo assim a possibilidade de uma arquitetura em nuvem. Este servidor, por sua vez, deve coordenar os dispositivos distribuídos, obtendo informações da rede que devem sincronizar os bancos de dados e também prover informações de estado dos controladores. O foco principal é o estabelecimento de uma arquitetura e infraestrutura que possam suportar as aplicações propostas.

Um estudo de caso foi realizado considerando o campus da Universidade Estadual de Campinas. A primeira aplicação viável de um projeto como este é o controle de acesso veicular ao campus universitário, através da implantação de leitores RFID nas portarias, em conjunto com controladores, cancelas automáticas e sensores de presença. Isso motivou o desenvolvimento de uma prova de conceito.

A instrumentação das portarias permite que os veículos sejam automaticamente identificados quando adentram o espaço restrito do campus, gerando informações de valor para outras aplicações possíveis. Dentre as aplicações previstas estão: controle de estacionamento privativo automático, sinalização interativa através de placas eletrônicas, informação de horários de transporte coletivo e elaboração de relatórios periódicos sobre o trânsito. Para que todas estas aplicações sejam disponibilizadas a comunidade, serão necessários trabalhos futuros de pesquisa e desenvolvimento.

Abstract

Computers as we know are no longer the majority of devices that communicate using the Internet. A few ago years a trend can be observed in this direction: "things" get small computers, and are represented virtually generating information of value to its users. This new phase of development of the information society is known as the "Internet of Things" and has affected both people's relationship with everyday life, as the current business models. This work shows how this technological trend, inside the context of Transportation Systems, can generate highly relevant applications.

With this objective, methodologies that could base the project were sought. An architectural reference model was used to support the project and design of a distributed system focused on specific applications. RFID technology was used with electronic tags and readers, to develop a devices arrangement that identifies vehicles and detect their presence in the inputs and outputs of a restricted location of interest. Low cost, open source and Internet ready devices were also described for work's interest.

Locally, these devices filter information, maintain reduced data bases, monitor sensors and control actuators. To manage the devices was proposed the use of network services, establishing the possibility of cloud architecture. The server must coordinate the distributed devices, getting information from the network that must synchronize the databases and also provide status information of the controllers. The main focus is to establish an architecture and infrastructure that can support the proposed applications.

A case study was designed aiming the campus of the State University of Campinas. The first viable implementation of such a project is the control of vehicular access to the campus, through the installation of RFID readers, controllers, automatic barriers and presence sensors. That result in a deployed proof of concept.

The instrumentation of the campus access allows vehicles to be automatically identified when they enter the restricted space of the campus, generating valuable information for other possible applications. Among the intended applications include: automatic control of private

parking, signaling through interactive electronic boards, information on public transportation schedules and reporting generation about transit. In order to all these applications are available for the community, needed further in research and development.

Lista de Figuras

Figura 1 – Congestionamentos: prejuízos para pessoas, cidades e meio-ambiente.....	1
Figura 2- Cadeia de informação de um ITS.	11
Figura 3 – Tecnologias para aquisição de dados de um ITS. Retirado de (CHEN e MILES, 2009)	14
Figura 4 – Ilustração do funcionamento de comunicação RFID.....	20
Figura 5 – Framework de protocolos EPC. Adaptado de (EPC GLOBAL, 2010).....	22
Figura 6 – Troca de mensagens durante período de execução da comunicação LLRP entre o Servidor (implementado no leitor) e o cliente (a ser implementado). É mostrada a interação com o protocolo aéreo e leitura de identificadores. Retirado de: (Low Level Reader Protocol (LLRP) Version 1.1, 2010).	24
Figura 7 - Funcionamento do protocolo ALE	25
Figura 8 – Arquitetura de um sistema alinhado a IoT. Ilustração de recursos e interfaces. Adaptado de (UCKELMANN, HARRISON e MICHAHELLES, 2011)	28
Figura 9 - Caminho de uma requisição HTTP no servidor, da requisição à resposta. Adaptado de (PLAY FRAMEWORK, 2011).	31
Figura 10 – Modelo de Referência para Design de sistemas. (MAGERKURTH, 2013).....	33
Figura 11 - Modelo de Domínio. Adaptado de (MAGERKURTH, 2013).....	34
Figura 12 – Modelo de Informação. Adaptado de (MAGERKURTH, 2013).	37
Figura 13 – Modelo Funcional. Adaptado de (MAGERKURTH, 2013).	39
Figura 14 – Arquitetura proposta em (GANESAN e VIGNESH, 2007) para alocação de estacionamento automático.....	43
Figura 15 – Disposição espacial de leitores RFID e arquitetura lógica para detecção automática de congestionamentos. Retirado de (AL-NAIMA e HAMD, 2012).	45
Figura 16 – Arquitetura espacial das bases RFID e camadas de conexão para detecção de horário do transporte coletivo. Retirado de (VANITCHAKORNPONG, INDRA-PAYOONG, <i>et al.</i> , 2012).....	46

Figura 17 - Placa de Sinalização Eletrônica. Um sistema RFID pode colher informações para controlar as placas de forma autônoma.	48
Figura 18 – Diagrama de casos de uso do sistema completo	53
Figura 19 – Modelagem de Domínio proposta para aplicações voltadas a Sistemas de Transportes	54
Figura 20 – Modelagem da Informação para entidade Virtual guaritaV	55
Figura 21 – Modelagem da Informação para Entidade Virtual CarroV	56
Figura 22 – Modelagem da Informação para Entidade Virtual UserV	57
Figura 23 – Modelagem Funcional preliminar do proposto.	58
Figura 24 – Maquete que demonstra funcionamento do sistema proposto	61
Figura 25 – Arquitetura física e de comunicação para o Estudo de Caso	62
Figura 26 - Sistema embarcado utilizado para o Estudo de Caso	64
Figura 27 – Projeto do Banco de Dados. Entidades e suas relações.	66
Figura 28 – Equipamento RFID utilizado.	67
Figura 29 – Ilustração do software <i>LLRP Commander</i>	69
Figura 30 – XML trocado entre dispositivos para configuração do leitor.....	70
Figura 31 - Estrutura de comunicação e lógica do sistema web embarcado (CARDOSO, MASTELARI e BASSORA, 2013).....	71
Figura 32 – Cadastro do Usuário e do veículo no sistema.	72
Figura 33 – Estrutura geral do software elaborado.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Visão e Hipóteses.....	3
1.2.	Objetivos.....	5
1.3.	Motivação para Estudo de Caso.....	6
1.4.	Relevância.....	8
1.5.	Organização do Trabalho.....	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1.	Sistemas Inteligentes de Transportes.....	11
2.1.1	Aquisição de Dados.....	13
2.1.1.1	Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos.....	15
2.1.2	Rede de Comunicação.....	17
2.1.3	Processamento.....	18
2.1.4	Utilização da Informação.....	18
2.2.	RFID.....	19
2.2.1	Protocolos EPC.....	21
2.2.1.1	LLRP.....	23
2.2.1.2	ALE.....	25
2.3.	Internet das Coisas.....	26
2.3.1	O Modelo MVC.....	30
3	METODOLOGIA.....	32
3.1.	Definição da Arquitetura.....	32
3.2.	Modelo de Domínio.....	33

3.3.	Modelo de Informação	36
3.4.	Modelo Funcional	38
4	REVISÃO DE APLICAÇÕES RELACIONADAS	40
4.1.	Controle de acesso veicular a locais restritos.....	41
4.2.	Detecção de congestionamentos	43
4.3.	Previsibilidade de horários do transporte público	45
4.4.	Controle de sinalização interativa.....	47
4.5.	Controle Logístico de Acesso a Pátios.....	49
5	Resultados	51
5.1.	Modelagem e design do proposto	51
5.1.1	Estudo dos Casos de Uso.....	52
5.1.2	Modelagem de Domínio	53
5.1.3	Modelagem da Informação	54
5.1.4	Modelagem Funcional	57
5.2.	Estudo de Caso.....	58
5.2.1	Descrição do Sistema.....	59
5.2.2	Demonstração de funcionamento	60
5.2.3	Arquitetura Física e de Comunicação.....	61
5.2.3.1	Dispositivo embarcado	63
5.2.3.2	Linux embarcado e Java	64
5.2.3.3	Banco de Dados.....	65
5.2.3.4	Equipamentos RFID	66
5.2.3.5	Protocolo LLRP e Ferramentas de Desenvolvimento	67
5.2.3.6	Sensores e atuadores.....	70
5.2.4	Serviço Web.....	71

5.2.5	Software desenvolvido.....	72
6	Conclusão	74
6.1.	Trabalhos futuros	75
	Referências Bibliográficas.....	76
ANEXO 1	81	

Lista de Abreviaturas e Siglas

ITS – Sistema de Transporte Inteligente
IoT – Internet das Coisas
USP – Universidade de São Paulo
SINIAV – Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos
RFID – Identificação por Radiofrequencia
Brasil-ID – Projeto Brasil ID
DARPA – Agência de projetos de pesquisa avançados em defesa
EPC – Código Eletrônico do Produto
EPC Global – Órgão internacional que regulamenta e padroniza
LLRP – Protocolo de leitura de baixo nível
ALE – Eventos a nível de aplicação
EPCIS – Padrão de serviço de informação EPC
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
IP – Protocolo Internet
IPv6 – Protocolo Internet versão 6
M2M – Máquina para máquina
IAV – Identificação automática de veículos
TCP – Protocolo de controle de transmissão
C2C – Carros para carros
V2V – Veículo para veículo
I2I – Infraestrutura para infraestrutura
V2I – Veículo para infraestrutura
I2V – Infraestrutura para veículo
HTTP – Protocolo de transferência de hipertexto
MVC – Modelo, páginas e controle
SOAP – Protocolo de acesso simples ao objeto
JSON – Notação de objeto javascript
ONS – Serviço de nomeação de objetos
RSSFs – Redes sensoras sem fio

1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento das cidades representa um grande desafio quando se trata dos problemas infraestruturais que o acompanham. O crescimento da população traz consigo problemas relacionados a saneamento urbano, criminalidade, poluição e transportes.

Isso pode ser notado ao se analisar grandes centros urbanos, como, por exemplo, São Paulo, que tem no trânsito caótico um dos principais problemas públicos. O Instituto de Estudos Avançados da USP calcula perdas diárias de 11 milhões de reais com tempo e combustível nos congestionamentos, enquanto a Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos estima que as perdas financeiras com acidentes de trânsito, poluição e engarrafamentos sejam de 4,1 bilhões de reais por ano (VEJA.COM, 2008). A Figura 1 ilustra o cenário. Abrandar perdas relacionadas aos sistemas de transporte está na pauta estratégica das principais cidades do mundo.



Figura 1 – Congestionamentos: prejuízos para pessoas, cidades e meio-ambiente.

Abordagens modernas para sanar estes tipos de problemas estão compreendidas no âmbito dos Sistemas Inteligentes de Transporte, do inglês, *Intelligent Transportation Systems*, ou ITS.

Os ITS são aplicações inter-relacionadas de sistemas de computadores, eletrônica, tecnologias de comunicação e estratégias de gestão para melhorar a segurança e a eficiência dos sistemas de transporte (Kansas City Regional ITS Architecture, 2012).

Cidades Digitais, ou Cidades Inteligentes, são definidas por (ISHIDA T., 2000) como comunidades conectadas que combinam uma infraestrutura de telecomunicações flexível, com uma rede de serviços baseada em padrões abertos e que fornece serviços inovadores que atendem toda sociedade. A tentativa de trazer inteligência ao trânsito e oferecer serviços inovadores a população vem de encontro com essa ideia.

No Brasil, a principal iniciativa do governo federal para trazer inteligência ao controle e monitoramento do tráfego veicular é o Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos, ou simplesmente SINIAV. O SINIAV tem como objetivo implantar um sistema de identificação eletrônica nos automóveis, que funcionarão como placas eletrônicas. É também objetivo do projeto implantar uma infraestrutura dedicada que seja capaz de ler, comunicar e interpretar os dados contidos nestas etiquetas de identificação (WERNER VON BRAUN, 2009).

Isso será possibilitado pela tecnologia de Identificação por Radiofrequência, ou RFID. Esta tecnologia permite que etiquetas eletrônicas, compostas por um chip e por uma antena, sejam energizadas por ondas de radiofrequência emitida por leitores, e, dessa forma, consigam se comunicar com estas unidades leitoras remotas. A inserção de etiquetas eletrônicas que identifiquem veículos de forma única, e de leitores que, servindo aplicações mais complexas, colham os dados destas etiquetas, abre inúmeras possibilidades de aplicações relacionadas aos sistemas de transportes.

Outro projeto do governo federal que se apoia na mesma tecnologia é o projeto Brasil-ID. De acordo com (O Brasil-ID, 2009) o projeto tem como objetivo “desenvolver e implantar uma infraestrutura tecnológica de hardware e software que garanta a identificação, rastreamento e autenticação de mercadorias produzidas e em circulação pelo Brasil, com a utilização de chips RFID, visando padronizar, unificar, interagir, integrar, simplificar, desburocratizar e acelerar o processo de produção, logística e de fiscalização de mercadorias pelo País”.

Estas iniciativas conjuntas no sentido de adotar o RFID para resolver problemas ligados aos sistemas de transportes, indicam que a tecnologia vem sendo estudada e testada em âmbito nacional, o que precede um processo de adoção pelo mercado. Neste processo, o

desenvolvimento de aplicações que utilizam a infraestrutura proporcionada, e agregam ainda mais valor à sociedade, é de grande relevância.

Em contrapartida, iniciativas europeias com o objetivo de trazer comunicação aos sistemas de transporte focam na tecnologia WLAN (Rede local sem-fio operando em 5Ghz) e na tecnologia 3G (STAHLMANN, FESTAG, *et al.*, 2011). A opção por estas tecnologias traz maiores possibilidades de aplicações utilizando a Internet. Por este motivo projetos como este despertam interesse da indústria automotiva (como audi e volkswagen) e desenvolvedores de tecnologia focados nas aplicações que podem derivar do desenvolvimento da arquitetura (como NEC e Bosch).

1.1. Visão e Hipóteses

Um cenário ideal, visualizado no longo prazo, para o sistema de transporte urbano, é aquele onde os veículos são autônomos e econômicos, podem transitar pela rua (ou por vias aéreas) de tal forma a necessitar o mínimo de intervenção para realizar a locomoção diária das pessoas, de forma ágil e segura. Neste cenário, motorista seriam peças secundárias, e a maior parte das decisões seriam tomadas pelos próprios veículos, e por uma *inteligência artificial* que controlaria o trânsito.

Dessa visão longínqua, pode-se derivar algumas hipóteses com o objetivo de compreender melhor o que está envolvido no processo. Parte-se então de um ponto inicial, que é o cenário dos sistemas de transportes atuais. A evolução pode, então, ser dividida em duas frentes distintas. Na primeira buscam-se métodos de controle de veículos, para que os mesmos se locomovam sem interferência humana, através da medição do ambiente e do controle em elementos atuadores. Na segunda busca-se que o veículo possa se locomover em um ambiente com muitas incertezas e eventos emergentes. Dessa forma, uma frente trata os aspectos de navegação para cada carro, e a outra trata da inteligência que surge da comunicação entre os veículos e a infraestrutura.

Analisando a primeira frente, compreende-se que um veículo autônomo é projetado a partir de: (1) Instrumentação e sensoriamento veicular para aumento de suas capacidades de aquisição de dados do meio que estão inseridos, como câmeras e sistemas de localização, e ainda

processamento capaz de analisar os dados gerados por estes sensores; e, (2) Inserção de mecanismos para controle destes veículos, considerando entradas e estimando saídas, através de métodos de controle, para controle dos motores e da direção do veículo. Ainda assim, quando estes veículos são inseridos em ambientes reais de alta incerteza, como ocorre em vias públicas, a dificuldade aumenta.

Algumas competições de veículos autônomos acontecem ao redor do mundo, como por exemplo, o desafio da DARPA, onde carros atravessam desertos sem qualquer interferência humana na direção. Sabe-se que a pesquisa em torno do tema de veículos autônomos é extensa e complexa, e que desafios para controlar veículos a partir de medições do mundo real ainda enfrentam problemas principalmente no que tange a capacidade computacional de unidades controladoras embarcadas.

A resposta para o controle em situações que envolvem eventos emergentes está na comunicação efetiva entre os envolvidos no processo, no caso, veículos e infraestrutura, para que o processo não seja isolado, mas sim, integrado. A segunda frente, citada acima, trata então deste aspecto. Isso porque carros não circulam pelas ruas sozinhos, reconhecendo obstáculos e os superando. O processo de reconhecimento do ambiente deve ser acompanhado pela comunicação eficaz entre todos os agentes ativos dos sistemas de transportes, sejam eles automóveis, bicicletas, motocicletas, pedestres ou a infraestrutura que circunda o sistema de transporte. O processo decisório sofre influências de decisões anteriores e combinações que não dependem apenas de um veículo, mas da situação que este está inserido, e de outros veículos que compartilham da mesma situação.

Isso mostra que a comunicação entre os agentes de um sistema de transporte, é fator determinante para a evolução na direção previamente citada. Informações devem ser trocadas entre veículos adjacentes, e com a infraestrutura, de tal forma a estabelecer um processo de comunicação complexo, integrado e colaborativo, para buscar um objetivo comum que é o de conseguir transportar pessoas e mercadorias de forma autônoma, segura e ágil, reduzindo a intervenção humana gradativamente. Este tipo de comunicação vem sendo tema de projetos e consórcios com o objetivo de definir uma estrutura de comunicação eficaz entre os veículos, comumente denominada V2V, de veículo para veículo, e também V2I, de veículo para infraestrutura (ETSI, 2010) (CAR-2-CAR COMMUNICATION CONSORTIUM, 2009).

Este projeto se utiliza destas hipóteses para concentrar esforços em modelar um sistema de transporte mais inteligente, e programar uma prova de conceito, partindo do princípio que as “coisas” que compõe o sistema de transporte possuem “inteligência”, e se comunicam pela Internet.

A Internet das Coisas é de fato, esta visão de longo prazo onde as “coisas” físicas do mundo real se comunicam e interagem, com o objetivo de orquestrar serviços de grande relevância que se fundem com a vida cotidiana. Assim como a Internet permitiu que as pessoas se comunicassem de forma mais eficiente, e revolucionou a Sociedade por armazenar dados digitais referentes a essa comunicação – oferecendo serviços a partir destes dados, a Internet das Coisas representa a visão de que as “coisas” do mundo também podem se comunicar, e a informação gerada por elas pode ser armazenada de tal forma que serviços podem se utilizar dela para gerar novas aplicações.

Este trabalho pode ser visto como uma tentativa de trazer esta mentalidade para os sistemas de transportes, utilizando esta comunicação entre os veículos e a infraestrutura para propor aplicações que resolvam problemas reais dos sistemas de transporte urbanos.

1.2. Objetivos

Os objetivos deste trabalho estão divididos da seguinte forma:

- Modelagem Arquitetural de uma aplicação utilizando um modelo de referência para projetos ligados à IoT, proposto por (MAGERKURTH, 2013). Esta modelagem tem como objetivo trazer os conceitos à implementação e facilitar o design de sistemas segundo recomendações e modelos coerentes. Para tal, foi necessário:
 - Listar aplicações que, partindo da infraestrutura de rede disponível, resolvam problemas relacionados a sistemas de transporte e possam ser integrados ao sistema de controle de acesso proposto, reutilizando os dispositivos utilizados, ou não. A partir da perspectiva da Internet das Coisas, estas aplicações podem ser utilizadas em conjunto, a fim de se integrarem uma às outras através de

macanismos que conduzam a escalabilidade e interoperabilidade dos sistemas; (LAISHENG, XIAOHONG, *et al.*, 2009) (SELVARAJAH, TULLY e BLYTHE, 2008) (VANITCHAKORNPONG, INDRA-PAYOONG, *et al.*, 2012) (ZHOU, LIU e WANG, 2012).

- Desenvolvimento de uma aplicação em controlador *de* código aberto (*open-source*) que gerencie uma cancela e monitore sensores de presença para realizar o acesso veicular automático ao local citado, através de uma aplicação web. Ela deverá monitorar sensores e controlar atuadores, e também se comunicar com um leitor RFID. Dito isso, será necessário também:
 - Utilizar o protocolo LLRP para configurar e monitorar um leitor RFID de acordo com as especificações. É um serviço que habilite a sincronização periódica de bancos de dados através da Internet;
 - Projetar um sistema distribuído de dispositivos embarcados que suportem diversas aplicações específicas. Estas aplicações se utilizam de recursos do dispositivo da rede para oferecer serviços aos usuários.

1.3. Motivação para Estudo de Caso

A tecnologia RFID é constantemente relacionada a uma nova fase da sociedade da informação conhecida como “Internet das Coisas” (FÓRUM DE COMPETITIVIDADE DE IOT, 2011). Nesta nova fase, dispositivos de capacidade computacional reduzida se comunicam através da Internet, e recebem o nome de “coisas” possuindo uma representação no mundo virtual e no mundo real. Parte-se do princípio, então, que a Internet será a rede de comunicação universal, ubíqua e pervasiva. Assim como os homens se comunicam através da Internet, as “coisas” também se comunicam (e essa tendência pode ser observada no cotidiano, com a invasão dos dispositivos móveis no mercado e na sociedade). Esses dispositivos geram uma grande quantidade de informações do mundo real, em tempo real, e estas são inseridas em bancos de dados da rede. A mineração de dados e tomada de decisão autônoma por parte de “coisas” do mundo real caracterizam esta nova fase.

Uma aplicação que se torna possível através da tecnologia RFID é o controle de acesso veicular a estacionamentos e ambientes restritos de forma autônoma. Identificando veículos com etiquetas eletrônicas e posicionando leitores em locais estratégicos, dados são colhidos e processados, o que permite que aplicações tomadoras de decisão sejam elaboradas com base nestas informações. As decisões são tomadas a partir da análise destes dados e culminam em atuações no mundo real.

Uma forma de oferecer uma infraestrutura de comunicação para uma cidade com o objetivo de cumprir ao objetivo de proporcionar uma rede única e ubíqua é através da implantação de Redes Metropolitanas de Acesso Aberto, ou do inglês, Open MANs. O projeto da Infovia Municipal vem de encontro com estes conceitos, oferecendo um projeto estruturado e infraestrutura base para que Open MANs sejam projetadas e implantadas em cidades. Estas Infovias Municipais, em muito se aproximam, estruturalmente, às redes de comunicação implantadas em campus universitários que ficaram populares no início do século 21 (MENDES, 2009).

O campus da Universidade Estadual de Campinas possui uma rede de fibra óptica capaz de suportar todas as necessidades de comunicação do campus, e em muito se assemelha a uma estrutura de Infovia Municipal. Além disso, o campus possui guaritas de controle nas entradas e saídas, delimitando o ambiente de controle. Esses argumentos justificam o fato deste trabalho comparar estruturalmente a Cidade Universitária da Universidade Estadual de Campinas a uma cidade digital.

A motivação deste trabalho é, então, derivada de pontos já citados até então:

- O SINIAV traz à realidade a tecnologia RFID para monitoramento e fiscalização de veículos, o que abre possibilidades de aplicações diversas utilizando a mesma tecnologia. Estas possibilidades serão levantadas e estudadas por este trabalho;
- A Internet revolucionou o mundo e a forma com que a informação é compartilhada entre as pessoas. Gradativamente “coisas” estão passando a se comunicar através desta rede, o que gera desdobramentos em diversos campos do conhecimento. Este trabalho busca iniciar um estudo prático destes desdobramentos com relação ao trânsito;
- O campus da Universidade Estadual de Campinas é carente de uma boa solução de acesso veicular. O sistema projetado com o auxílio deste trabalho poderá servir

como piloto para aplicações focadas em melhorias aos sistemas de transportes correntes.

Estes motivos fazem com que este trabalho teste conceitos novos partindo de uma aplicação já conhecida, que é o controle de acesso veicular utilizando tecnologia RFID. Busca-se, então, compreender como que, dado este cenário, proporcionado principalmente pela infraestrutura de rede ubíqua, aplicações relacionadas aos Sistemas de Transportes podem se desenvolver.

1.4. Relevância

A relevância do projeto em questão pode ser discutida segundo os seguintes pontos:

- A tecnologia RFID UHF, para gerenciamento, fiscalização e controle veicular ganhou grande destaque nacional com o SINIAV (DENATRAN, 2011), e emerge como principal pilar de estudos em Sistemas Inteligentes de Transportes no âmbito nacional. A tecnologia RFID é apoiada com a criação de laboratórios e centros de pesquisas a partir de financiamento público, como é o caso do Laboratório do CPqD, financiado pelo FINEP, e do CEITEC;
- A possibilidade de utilização do sistema em Cidades Digitais abre um grande mercado potencial e inúmeras possibilidades de aplicações utilizando a mesma infraestrutura, principalmente no âmbito dos Sistemas Inteligentes de Transportes. Sabe-se que o tema é fonte de investimento intenso no cenário nacional (Guia das Cidades Digitais, 2011);
- A utilização de controladores de projeto aberto, como é o caso do que será utilizado no desenvolvimento, reduz sensivelmente custos gerais e, mais uma vez, traz ao projeto a mentalidade da Internet. Embarcar um sistema operacional de código aberto aumenta a versatilidade destes microcontroladores, aumentando possibilidades com relação a conexões remotas, gerenciamento de tarefas simultâneas, e complexidade de arquivos que podem ser manipulados por este sistema. Entre os sistemas operacionais embarcados disponíveis (Microsoft Windows CE, QNX Neutrino, VxWorks, dentre outros), o Linux vem como primeira opção para *gadgets* inteligentes. Algumas das vantagens deste sistema

para aqueles proprietários são venda independente, tempo para comercialização e baixo custo (BARRERO, 2010), afetando a escalabilidade e interoperabilidade do sistema, o que impacta diretamente na viabilização técnica e financeira do projeto;

- Sistemas de controle de acesso veicular são focados no gerenciamento veicular e no controle de periféricos. Por sua vez, este projeto preocupa-se com a segurança do usuário do sistema através da conferência de duas TAGs. Este recurso pode ser trabalhado futuramente como forma de comunicação entre o motorista e o sistema;
- Os leitores se comunicam com servidores e controladores através de protocolos Internet, o que dá maior flexibilidade ao sistema. A possibilidade de utilizar uma arquitetura de computação em nuvem reduz os custos com relação a *hardware* e implantação. É esperado que em futuras aplicações, através da utilização do protocolo IPv6, a arquitetura em nuvem seja ainda mais popular para este tipo de aplicação (Getting Started with Building Smart Objects, 2013);
- O protocolo LLRP foi elaborado a partir de uma iniciativa de diversos fabricantes de leitores com o objetivo de padronizar o controle e comunicação dos leitores com seus controladores. A utilização deste protocolo no desenvolvimento torna o projeto independente do *hardware* que será utilizado na implantação;
- A implantação do sistema gera grande quantidade de informações relacionadas ao tráfego no ambiente que o projeto foi implantado. A primeira delas é a quantidade de veículos para cada instante de tempo. Com este dado em mãos, e já sabendo a capacidade do estacionamento em questão, pode-se, por exemplo, controlar o acesso a estacionamentos internos de acesso restrito, e que normalmente não são aproveitados em sua totalidade. Outras aplicações são possibilitadas, como por exemplo sinalização responsiva através de placas interativa, ou de interfaces web, contribuindo para a gestão do tráfego. Companhias que estão na vanguarda do desenvolvimento tecnológico, como a IBM, aplicam grande esforço em desenvolvimentos similares a este (SWEDBERG, 2011).

1.5. Organização do Trabalho

O capítulo 1 – Introdução – explicita problemas gerados pela falta de controle e instrumentação aplicados a sistemas de transportes urbanos, levanta hipóteses e estabelece uma visão de longo prazo para estes, cita os objetivos de tal forma a utilizar as tecnologias que vem sendo adotadas de forma mais escalável, interoperável e integrável, visando ampliar os benefícios da adoção. A motivação de tratar este problema neste primeiro momento. Finalmente, discute a relevância do projeto e do estudo de caso com relação a utilização da tecnologia de forma eficiente e em um contexto da Internet das Coisas. A seção é concluída expondo a organização deste trabalho.

O capítulo **Error! Reference source not found.** – Definições Básicas – expõe conceitos importantes sobre as áreas do conhecimento tratadas pelo trabalho. Coloca enfoque em expor e discutir os conceitos relacionados a Sistemas Inteligentes de Transportes, Internet das Coisas e relativos à tecnologia de Identificação por radiofrequência. Esta revisão embasa a metodologia e oferece uma visão geral dos termos que estão sendo tratados.

O capítulo 3 – Metodologia – explica o modelo de referência utilizado. Este modelo possibilita que aplicações sejam pensadas com a mentalidade da Internet das Coisas, e propõe um método para que os conceitos sejam trazidos à implementação.

O capítulo 4 – Revisão de Aplicações – faz um levantamento de aplicações de interesse aos sistemas de transporte, com o objetivo de propor casos de uso quando da elaboração da Modelagem Arquitetural.

O capítulo 5 – Resultados – apresenta os principais resultados. Ela os divide em dois, principalmente. O primeiro resultado é a proposta do modelo, que pode embasar o desenvolvimento de diversas aplicações voltadas aos sistemas de transportes. O segundo resultado é um projeto de um sistema distribuído que abriga um software web, embarcado em um dispositivo, que realiza cadastramento de veículos e usuários, utilizando acesso ao hardware (controle de entradas e saídas – I/O) para controlar uma cancela dada a aquisição de dados de um sistema RFID seguida por um processo de tomada de decisão autônoma.

O capítulo 6 expõe a conclusão deste projeto, e os próximos passos possíveis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistemas Inteligentes de Transportes

Essencialmente, Sistemas Inteligentes de Transportes podem ser pensados como uma cadeia de informação. A Figura 2- Cadeia de informação de um ITS. representa esta cadeia de informação. Ela inclui aquisição de dados, comunicações, processamentos, distribuição de dados, utilização da informação e fatores externos (CHEN e MILES, 2000).

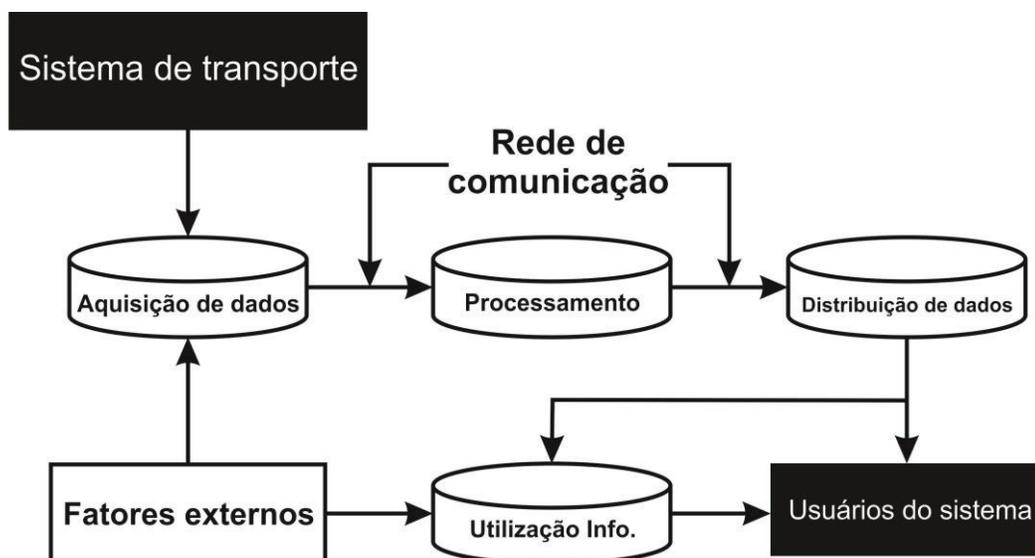


Figura 2- Cadeia de informação de um ITS.

É pré-requisito para todo ITS coletar informações do sistema de transporte. A etapa de *Aquisição de Dados* é responsável por colher estes dados e representá-los virtualmente. É importante que esta informação seja confiável, precisa, e delimitada no tempo. Com este objetivo diversas tecnologias são utilizadas, tais como: câmeras de vídeo, radares, laços indutivos, sensores ultrassônicos e RFID. É importante ressaltar que estas diversas tecnologias devem se

complementar para cumprir os objetivos de um ITS, e que raramente é utilizada apenas um tipo de tecnologia na captação dos dados. O mais praticado é a adoção de diversas tecnologias para coletar os dados. Condições climáticas e análises meteorológicas também são consideradas como entradas nessa cadeia, e são identificados na Figura 2 como *Fatores externos*.

Realizada a *Aquisição dos Dados*, estes deverão ser comunicados para unidades de *Processamento* através de uma *Rede de Comunicação*. Esta rede é de grande importância na definição e especificação de um sistema ITS uma vez que representa grande parte dos custos totais. Geralmente não é utilizado um único meio físico para escoar os dados de um ITS, sendo possível encontrar redes de fibra ótica e também comunicações *wireless* coexistindo no mesmo sistema. Normalmente, aplicações possuem diferentes demandas com relação a mobilidade e quantidade de banda necessária, o que faz com que, para cada aplicação, uma arquitetura de rede seja utilizada. Fato é que, quanto maior a disponibilidade de infraestrutura de comunicação, maior a quantidade de dados que podem trafegar pela rede, e, conseqüentemente, melhores serão as decisões tomadas pelo sistema.

O *Processamento* da informação acontece de forma distribuída. Bases de dados e servidores centralizados são utilizados para coordenar esta rede, porém, unidades descentralizadas poderão trabalhar em aplicações menores e específicas, como controle de acesso, sinalização, contagem de veículos e fiscalização das vias. Nesse cenário, sistemas embarcados são largamente utilizados para processamentos menores, e centros remotos de processamento são construídos para concentrar os dados e coordenar estes sistemas distribuídos. Estes centros normalmente não são responsáveis apenas pelo processamento de informações, mas também por reunir profissionais que monitoram o Sistema de Transporte constantemente.

Consideradas as entradas (obtidas na *Aquisição de Dados*), algoritmos são executados (na etapa de *Processamento*) e então a informação é utilizada para fins específicos. A *Distribuição de Dados* é realizada após dados serem processados, que geram resultados específicos dependendo da aplicação alvo. Estes resultados devem ser distribuídos para equipamentos fixos e móveis que farão a interface com os usuários que utilizarão as informações. Dentre estes equipamentos pode-se citar, telefones (fixos e celulares), monitores, rádios veiculares e portáteis, placas de sinalização e quiosques de informação.

A *Utilização da Informação* serve a algumas funções primárias, que não são mutuamente excludentes. A primeira delas é de alerta, direcionada aos usuários para que tomem decisões

inteligentes e coordenadas frente às situações. Espera-se também que ela suporte um sistema para controle de tráfego e auxilie na direção dos motoristas, cooperando com a relação infraestrutura e usuários do sistema.

Este modelo genérico define quais são os elementos que devem ser pensados quando da adoção e implantação de um sistema ITS.

2.1.1 Aquisição de Dados

A Aquisição de Dados de um sistema de transporte é dada pela instrumentação da infraestrutura. Nos casos mostrados na Figura 3 são mostrados exemplos de instrumentos que realizam aquisição de dados. Eles são compõe um tipo de comunicação I2V - da Infraestrutura para o Veículo (ETSI, 2010).

Novos protocolos como o Car-2-Car proposto por (CAR-2-CAR COMMUNICATION CONSORTIUM, 2009) possibilitam que aplicações se utilizem da comunicação entre veículos, sendo este ativo na comunicação. Isso permite comunicação de mão-dupla, e ampliação considerável das possibilidades de projeto.

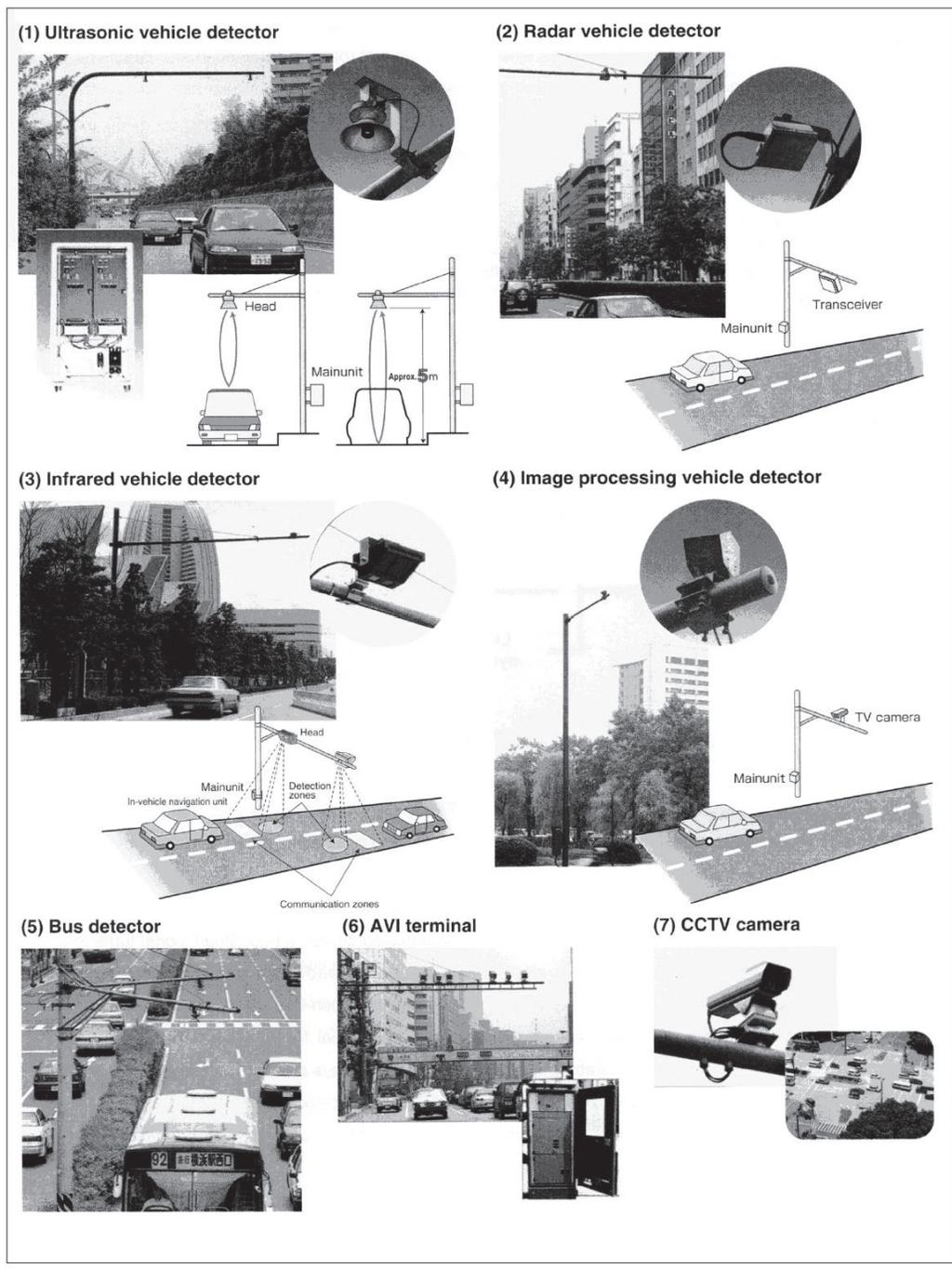


Figura 3 – Tecnologias para aquisição de dados de um ITS. Retirado de (CHEN e MILES, 2009)

2.1.1.1 Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos

O Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos é um projeto do DENATRAN que determina a adoção obrigatória da tecnologia RFID, através da utilização de placas eletrônicas, em toda a frota brasileira de veículos, o que possibilita diversas aplicações no âmbito do controle e monitoramento de tráfego veicular.

Ele estabelece os requisitos para que a tecnologia RFID identifique todos os veículos em circulação, os quais serão monitorados por leitores e antenas instaladas em pontos estratégicos das vias públicas. Este conjunto leitor-antena funciona como um interrogador, emitindo ondas de radiofrequência em direções determinadas, estabelecendo uma área de cobertura da antena. Quando a etiqueta adentra esta área, ela responderá à indagação da antena, de tal forma que o leitor receberá um número de identificação e informações que estão armazenadas nesta etiqueta. Isso aumentará a quantidade de informação trocada por dispositivos que estão em uma rede, impactando positivamente a qualidade das decisões tomadas por aplicações implementadas nos sistemas de transportes.

Estabelecendo um paralelo entre o SINIAV e um sistema ITS completo nota-se que este define como será realizada a *Aquisição de Dados* do sistema de transporte. A maior preocupação do SINIAV está em padronizar e especificar as etiquetas, leitores e antenas que serão utilizadas para colher informações dos sistemas de transporte.

O Resumo Executivo dos Requisitos Técnicos (WERNER VON BRAUN, 2009), publicado em 29 de Outubro de 2009, define o contexto para um sistema nacional de IAV – Identificação automática de veículos – como sendo:

- Dados gerados remotamente (no campo de operações, pela leitura das placas de identificação veicular eletrônica) devem ser confiáveis para que serviços públicos e privados possam ser implementados em âmbito nacional;
- Sendo um sistema nacional, o risco associado a soluções tecnológicas que não prevejam robustez para vários anos à frente é significativo, especialmente em vista do investimento associado em infraestrutura de leitores, placas de identificação veicular eletrônica e sistemas de gestão de dados que estará sendo realizado;

- Em termos tecnológicos a solução deve estar alinhada com os principais temas de padronização e direções de desenvolvimento na área de RFID, podendo ser ao mesmo tempo um caso de aplicação de referência e contexto de discussão para melhorias oriundas da discussão internacional.
- Em termos sistêmicos, lacunas suscetíveis de melhoria (por exemplo – integração física indelével ao veículo) não devem ser elementos niveladores, mas elementos passíveis de desenvolvimento dinâmico sem ferir as demandas de uso e outros aspectos relacionados à identidade única dos veículos que o sistema de IAV quer estabelecer.
- Sendo originário de uma demanda genuinamente Brasileira, regulamentada pelo Estado, constitui importante oportunidade para o estímulo à indústria e tecnologia nacionais, especialmente no campo da Eletrônica e Microeletrônica;
- Sendo um sistema nacional, definido pelo Governo, não deve promover uma iniciativa comercial em particular, mas dar oportunidade, a mais igualitária possível, a todos quanto tiverem condições de fornecer soluções dentro de um conjunto de normas e padrões.

Apesar da implantação do sistema trazer consigo diversas vantagens, ela tem sido marcada por adiamentos seguidos – sendo que atualmente o prazo de adoção definitiva é . De fato a adoção da tecnologia RFID a nível nacional para esta aplicação requer cuidados e atenção com relação à padronização e especificação do hardware. Os primeiros testes começaram em outubro de 2012, quando foram realizadas avaliações e ajustes dos processos e tecnologias que darão suporte ao novo tipo de emplacamento, utilizando placas convencionais associadas às tags (etiquetas) de RFID.

Algumas aplicações já vêm sendo pensadas pelo próprio projeto, as quais foram consideradas quando da proposta do presente trabalho. Dentre elas pode-se citar (DENATRAN, 2011):

1. Controle de velocidade veicular, com estações de medição distintas, a fim de determinar a velocidade média dos veículos entre dois pontos, a fim de estabelecer uma fiscalização mais precisa nas vias;
2. Pagamento de pedágio “ponto-a-ponto”, sendo que estações de cobrança possam ser mais flexíveis, e que os utilizadores do sistema de transporte paguem apenas pelos

quilômetros rodados, e não por passagens em estações de cobrança com preços fixos;

3. Fiscalização de quitação de impostos e taxas decorrentes da circulação dos veículos, através da leitura da identificação e da consulta em bancos de dados, com o objetivo de identificar carros que trafegam irregularmente.

2.1.2 Rede de Comunicação

É condição *sine qua non* para um sistema ITS a presença de uma rede de comunicação eficiente para cada tipo de demanda. Alguns critérios devem ser considerados para especificar o tipo de comunicação para cada aplicação. Dentre esses estão: largura de banda (taxa de transmissão de bits por segundo), distância máxima de transmissão confiável, cobertura, latência, direcionalidade (um ou dois sentidos de comunicação) e requerimentos de mobilidade. Também são levados em consideração custos de instalação e manutenção (CHEN e MILES, 2000).

O estado da arte atual de desenvolvimento das redes TCP/IP sustentados pela tecnologias de fibra óptica e *wireless* (Gigabit Ethernet, 10G Ethernet, IEEE802.11x, IEEE802.16, e outras) oferecem um ambiente genérico que pode ser considerado como melhor candidato a rede universal única (MENDES, 2009). Dessa forma, uma infraestrutura de rede orientada aos padrões TCP/IP é considerada a solução mais conveniente para as aplicações que serão propostas neste trabalho. Isso reduz os custos relacionados à comunicação (que representa de 15 a 50% dos custos totais de um ITS) e universaliza a utilização dos protocolos Internet como base principal da comunicação. Utilizar uma infraestrutura de rede voltada aos padrões da Internet, e através dela comunicar dados RFID, é promover um cenário propício e auto descritivo para a Internet das Coisas.

2.1.3 Processamento

As informações do trânsito podem ser obtidas de várias maneiras e de distintas fontes ao mesmo tempo. Assim, nos centros de gerenciamento de tráfego ou de transporte, há uma necessidade de processar os dados, verificar a sua precisão, conciliar informações conflitantes, colocá-los em formatos compatíveis, e combiná-los com dados de outros órgãos. Este processo é conhecido como fusão de dados. A mobilidade da Internet permite cada dia mais a flexibilização destes centros de controle, a informação armazenada em nuvem permite visualização e aproveitamento da mesma, desde que os bancos que a armazenam sejam projetados de acordo com modelagens de referência e escolhas de design compatíveis.

Na etapa de processamento as aplicações utilizam dados de diversas fontes para executar algoritmos específicos que oferecem serviços aos usuários. Dentre as aplicações previstas neste cenário, pode-se citar: informações de tráfego e de viagem, identificação automática de incidentes, localização veicular e navegação.

2.1.4 Utilização da Informação

A utilização da informação captada, comunicada e processada por agentes de um ITS servirá ao desenvolvimento de aplicações específicas que atendam aos usuários do sistema de transporte em suas diversas necessidades. Neste contexto o usuário não seria apenas o motorista, mas todos envolvidos nos processos do sistema de transporte, sendo pedestres, motociclistas, ciclistas, e também o Estado (com a polícia, agentes de trânsito, monitores do sistema de transporte etc). O Estado é um usuário por poder monitorar, regulamentar e fiscalizar o sistema de transporte, assim como prover aos envolvidos em todos os processos, mecanismos que os auxiliem em tomadas de decisões mais apropriadas.

Alguns serviços são oferecidos aos usuários através de interfaces homem máquina de forma a cumprir estes objetivos. Estas informações podem também estar disponíveis para outras

máquinas, em uma comunicação M2M – máquinas para máquinas, com objetivos de atender a serviços na rede.

Neste sentido, alguns dispositivos podem ser utilizados, dependendo da aplicação. Atualmente alguns serviços ganharam destaque, principalmente após o investimento do Google no aplicativo móvel para trânsito, Waze (WAZE MOBILE, 2012). Ele utiliza mecanismo de *crowdsourcing*, ou conhecimento da multidão, com o objetivo de levantar informações do trânsito a partir dos próprios usuários, os quais fornecem opiniões e realimentação de informação em tempo real das condições do trânsito. Estas informações são então tratadas por algoritmos e fornecidas novamente aos usuários através de mecanismos de cálculo de rotas alternativas que desviam os usuários de regiões com trânsito lento, o que auxilia o motorista na tomada de decisão da rota escolhida. Pode-se deduzir que ainda há um grande espaço na utilização deste tipo de dispositivo em favor de aplicações que envolvem sistemas de transportes.

Pode-se imaginar também que em breve carros utilizarão estas informações através de unidades embarcadas dentro do veículo, com interfaces amigáveis, e conectadas a uma rede que disponibilize aplicações relevantes. O casamento destas unidades com serviços da rede que prevejam congestionamentos e evitem acidentes é um exemplo claro de como a informação pode ser utilizada de forma distribuída em benefício dos usuários do sistema.

2.2. RFID

A Identificação por Radiofrequência, ou RFID, é um termo que descreve sistemas de identificação no qual um dispositivo eletrônico utiliza radiofrequência ou variações de campo magnético para se energizar e responder ao dispositivo indagador (GLOVER e BHATT, 2006). A Figura 14 mostra os componentes envolvidos e explica a comunicação RFID. Os dois componentes mais importantes de um sistema RFID são os leitores e as etiquetas RFID. As etiquetas contêm as informações e são fixadas nos itens que serão rastreados, já os leitores são dispositivos capazes de reconhecer a presença destas etiquetas (ou tags) e ler as informações gravadas nelas. Usualmente o sistema com o qual os leitores se comunicam rodam um software intermediário entre os leitores e a aplicação. A este software dá-se o nome de Middleware RFID,

e ele suporta a elaboração de sistemas distribuídos. Esta capacidade de se comunicar por redes, e habilitar esta capacidade em “coisas”, justifica o termo “Internet das coisas” e estabelece um paralelo entre a tecnologia e a tendência observada.

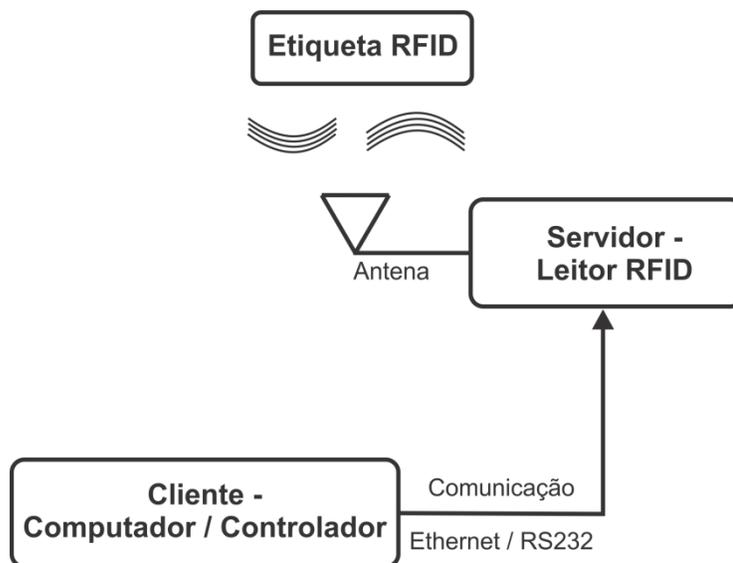


Figura 4 – Ilustração do funcionamento de comunicação RFID.

No estudo “*RFID Adoption Issues*” (WAMBA, KEATING, *et al.*, 2009) mostram que os fatores que influenciam tomadores de decisão a investir no RFID são, principalmente: (1) os benefícios que o RFID oferece em termos da melhoria da qualidade da informação, confiabilidade e economia de tempo, (2) a relação de comprometimento da alta direção com os gerentes seniores para fornecer recurso que irá apoiar o investimento em RFID, (3) melhoria no alinhamento da informação trocada com clientes e fornecedores.

Por outro lado, os fatores que influenciam negativamente a decisão por investimento em RFID, principalmente, são (1) riscos com relação à privacidade, (2) riscos em relação à segurança e (3) ambiguidade de padrões. Cita-se ainda no estudo que a oportunidade de gerar benefícios estratégicos através do RFID se dá na melhoria do processo de tomada de decisões, utilizando a grande quantidade de informações gerada pela adoção. Mas percebe-se que esta ainda é freada pelos custos de aquisição associados a tecnologia RFID (WAMBA, KEATING, *et al.*, 2009).

No contexto das aplicações relacionadas a Sistemas Inteligentes de Transportes, a adoção do RFID tem sido estudada no âmbito do Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos, um projeto do DENATRAN que determina a adoção obrigatória da tecnologia de Identificação por Radiofrequência em toda a frota brasileira de veículos, o que possibilita diversas aplicações no em controle e monitoramento de tráfego veicular.

Neste trabalho, discute-se a arquitetura física e lógica necessária para implantação de sistemas que, utilizando esta etiqueta, ofereça serviços relevantes aos usuários do sistema de transporte.

2.2.1 Protocolos EPC

A arquitetura de protocolos tratada na Figura 5 identifica as etapas da comunicação RFID, de acordo com a EPC Global (EPC GLOBAL, 2010). Elas descrevem como o leitor realiza a leitura de uma etiqueta e as compartilha (sendo comunicada e armazenada em bases de dados) com ferramentas de negócio através de uma cadeia de informação. O protocolo LLRP é a base dessa cadeia, uma vez que configura a operação do leitor e do protocolo aéreo para leitura das informações contidas na etiqueta, e representa uma tentativa de padronizar a forma como os leitores são configurados, com relação ao protocolo aéreo e comunicação com outros leitores. Antes, ferramentas proprietárias eram usadas para realizar essas tarefas, tornando a interoperabilidade entre fabricantes distintos uma tarefa difícil. Esta falta de interoperabilidade entre sistemas heterogêneos - uma vez que um leitor Motorola não poderia ser facilmente substituído por um Allien (amobs fabricantes de leitores), por exemplo - não permite que uma Internet das Coisas se desenvolva, afetando radicalmente a escalabilidade de sistemas RFID.

O protocolo de nível mais baixo voltado ao oferecimento de uma API é o Protocolo de Baixo Nível do Leitor, ou LLRP. Ele é responsável por configurar as operações de acesso a tag e também a operação do leitor. Um middleware contém mecanismos lógicos para filtragem e agregação de identificadores, e é definido pelo protocolo de Eventos em Nível de Aplicação – em tradução livre – ou ALE. A ideia básica deste protocolo é fornecer dados filtrados e agregados

para aplicações que podem ser utilizadas diretamente pelas aplicações. Estes dois protocolos serão explicados em seções posteriores.

Em uma arquitetura tradicional, uma implementação ALE é utilizada a partir de um computador que a hospeda. Ela tem objetivo então de configurar o leitor e oferecer informações que são de interesse para as aplicações que esta servirá. Quando ciclos de evento são concluídos, então a informação é disponibilizada por interfaces padronizadas para que estas sejam utilizadas.

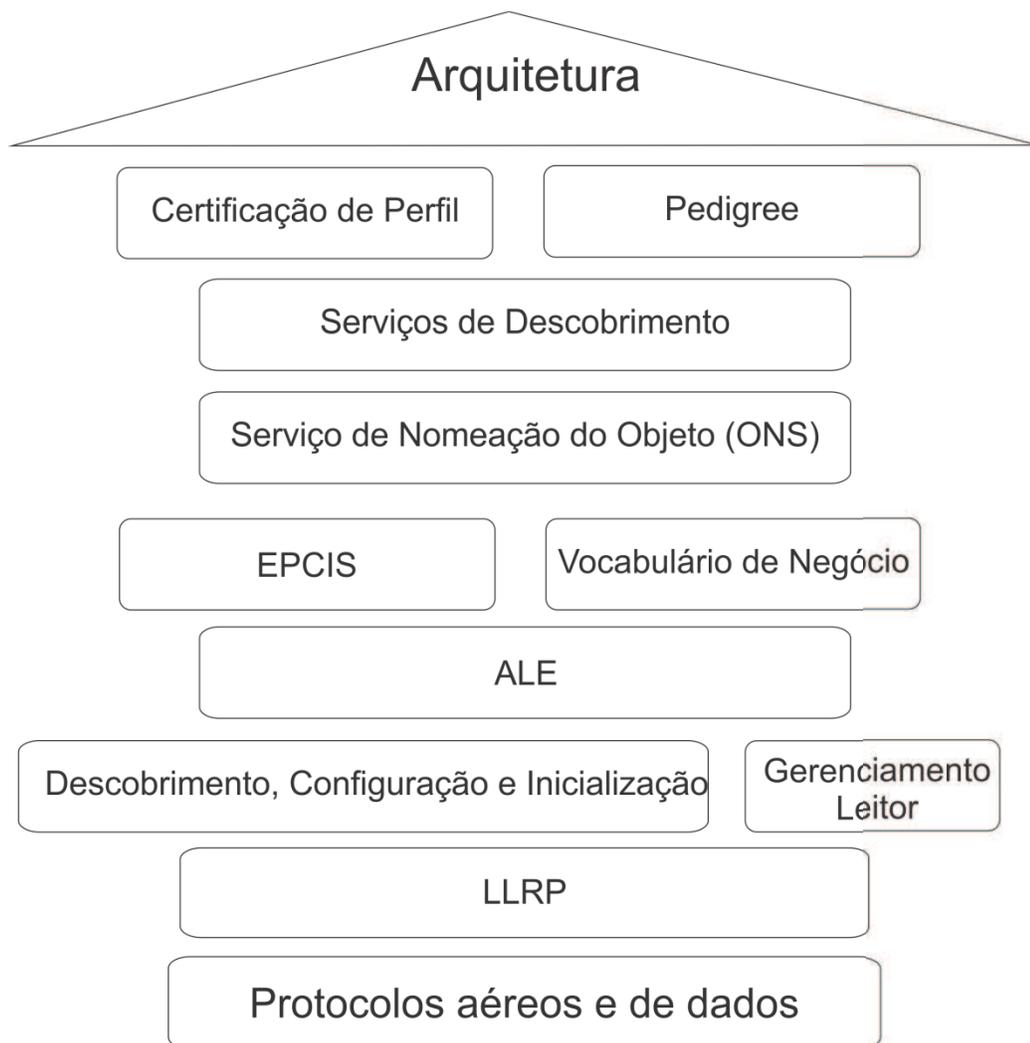


Figura 5 – Framework de protocolos EPC. Adaptado de (EPC GLOBAL, 2010).

O protocolo EPCIS, então, é responsável por capturar estas informações e armazená-las em bancos de dados de forma estruturada. O principal objetivo do EPCIS é permitir que aplicações distintas utilizem o Código Eletrônico de Produto (EPC) através do compartilhamento de dados, tanto internamente como entre as empresas. (EPC Information Services (EPCIS) Versão 1.0.1, 2007).

Com os dados estruturados, e passíveis de serem compartilhados entre empresas e ferramentas de negócio, é necessário que serviços de descobrimento consigam encontrar estes dados em serviços remotos, na rede. Esta é a função do protocolo ONS, ou Serviço de Nomeação dos Objetos, o qual não terá enfoque particular posterior, pois acredita-se que este protocolo pode, e deve, ser substituído por protocolos mais escaláveis e abrangentes no contexto da IoT. Fazendo um paralelo com a pilha Internet, o ONS se aproxima, quanto às suas funcionalidades, ao protocolo DNS. Isso porque, este encontra a rota através da rede, dada uma URL, de um endereço específico. O ONS permite que as informações contidas em objetos físicos do mundo real sejam acessadas por ferramentas que não originaram aquela informação. Assim sendo, recursos ou serviços distribuídos poderiam ter acesso a informações que não foram geradas por eles, aumentando a escalabilidade destes serviços.

Os protocolos superiores mostrados na Figura 5 – Framework de protocolos EPC. Adaptado de ., como a Certificação de Perfis, e o Pedigree, demonstram a preocupação da especificação com a segurança e privacidade dos serviços que utilizam estes protocolos em sua comunicação.

2.2.1.1 LLRP

A Figura 6 mostra como o leitor e o cliente interagem para cumprir ao objetivo de inventariar tags, mostrando o funcionamento do protocolo LLRP. Em um primeiro momento o cliente configura o leitor com relação à operação que será realizada. Então configura a operação de cada antena (principalmente com relação a forma que estas antenas irão fazer o inventário de etiquetas), e também a forma com que os tags serão acessados (protocolos aéreos de leitura e escrita). Feito isso, o leitor entrará em operação, enviando dados ao cliente sempre que ciclos

forem concluídos e etiquetas lidas. Ao fim da operação o leitor envia um relatório ao cliente reportando a operação em questão.

O protocolo LLRP é baseado em duas abstrações principais: 1) Operações de Leitura e 2) Operações de Acesso. Operações de Leitura – ou RO, do inglês *Reader Operation* – definem os parâmetros para operações de Inventário e Pesquisa de antenas de Radiofrequência. Operações de Acesso definem os parâmetros para a realização de operações de acesso aos dados de uma tag e para uma tag (Low Level Reader Protocol (LLRP) Version 1.1, 2010).

O controle de sincronismo de uma operação é realizado utilizando a especificação de limite, a qual determina como uma operação deve iniciar (através de um trigger inicial) e ser finalizada (através de um trigger de parada).

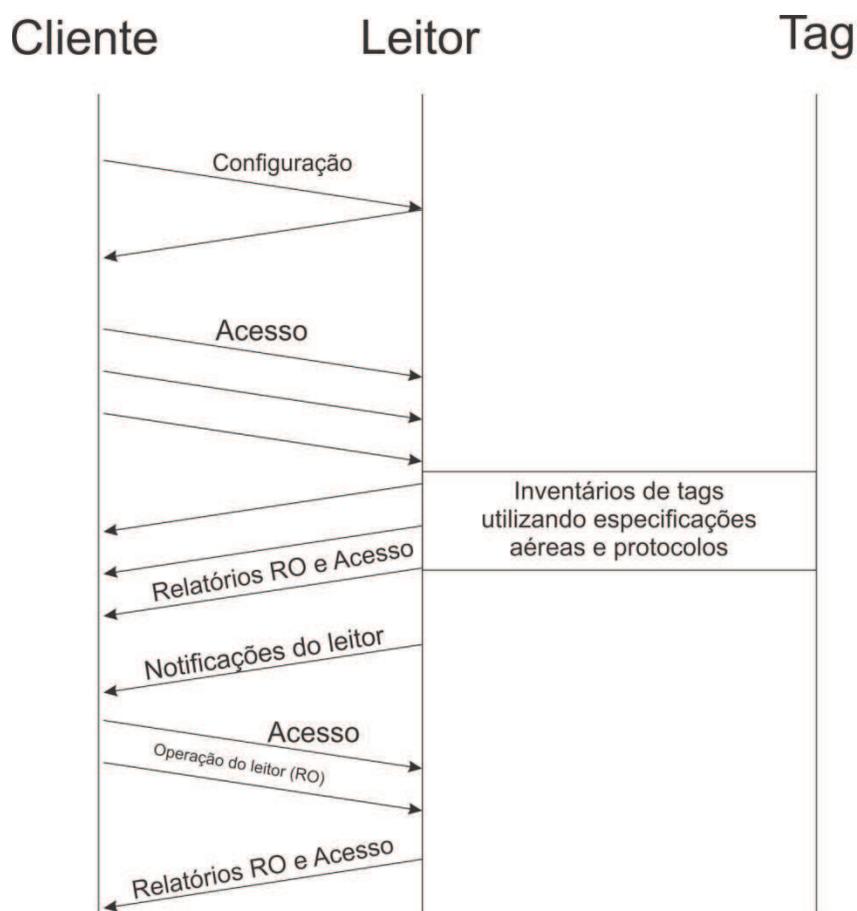


Figura 6 – Troca de mensagens durante período de execução da comunicação LLRP entre o Servidor (implementado no leitor) e o cliente (a ser implementado). É mostrada a interação com o

protocolo aéreo e leitura de identificadores. Retirado de: (Low Level Reader Protocol (LLRP) Version 1.1, 2010).

O leitor recebe as informações passadas pelo cliente através de mensagens estruturadas no formato XML. Os métodos utilizados para configurar o leitor, assim como as mensagens que são trocadas para tal, são listados e explicados na seção 5.2.3.6.

2.2.1.2 ALE

O protocolo ALE se utiliza dos recursos de camadas inferiores, no caso do LLRP, para oferecer serviços de mais alto nível aos desenvolvedores. A Figura 7 detalha o funcionamento do protocolo.



Figura 7 - Funcionamento do protocolo ALE

Na Figura 7 são mostrados ciclos de eventos que utilizam ciclos de leitura. Ciclos de leitura são especificados ainda no protocolo LLRP, e neste contexto, o ALE se utiliza destas especificações para oferecer abstrações de mais alto nível aos desenvolvedores, neste caso, os ciclos de leitura. Dessa forma, o ALE se mostra como um protocolo focado em filtrar e agregar tags, em serviço de ferramentas de negócio conforme necessidades específicas.

Ao fim dos ciclos de evento as informações colhidas são oferecidas através de *Reports*. Estes são enviados a clientes ALE indicando o fim do ciclo de evento e contêm informações lidas das etiquetas e confirmações de escrita ou manipulação de tags (The Application Level Event (ALE) Specification, Version 1.1.1, 2009).

O ALE é então uma camada intermediária na comunicação entre os elementos sensores (leitores e etiquetas RFID) e recursos remotos, que estão na rede. Este recurso tem como objetivo converter as informações providas pelos sensores em informações com valor de negócio para camadas superiores. Isso caracteriza um sistema distribuído, onde vários elementos em uma rede, realizam tarefas de forma descentralizada para cumprir a um objetivo comum. A este software intermediário, dá-se o nome de middleware, sendo este uma interface entre recursos locais e recursos remotos de um mesmo sistema.

2.3. Internet das Coisas

A Internet das Coisas ainda não é uma realidade tangível, mas uma visão prospectiva de um certo número de tecnologias que, combinadas poderiam nos próximos 5 a 10 anos modificar drasticamente a maneira como funcionam nossas sociedades. A ideia básica da Internet das Coisas é a de que, virtualmente, toda “coisa” física do mundo pode se tornar um computador que está conectado a Internet (AMAZONAS, 2011). Logicamente, as coisas não irão tornar-se computadores, mas sim alojar pequenos computadores. Quando isso acontece elas são então chamadas de *Smart Things* (ou em português: Coisas Inteligentes), pois podem agir de forma mais inteligente do que coisas que não possuem estes computadores (Fleish, 2010). Outro conceito que pode ser explorado neste contexto é o determinado pelo projeto CASAGRAS (AMAZONAS, 2011):

“Uma infraestrutura de rede global, interligando objetos físicos e virtuais por meio da exploração de captura de dados e capacidades de comunicação. Essa infraestrutura inclui a Internet existente e em evolução, bem como os desenvolvimentos de rede. Ele oferecerá identificação de objeto específica, capacidade de sensoriamento e de conexão como base para o desenvolvimento de aplicações e serviços independentes cooperativos. Estes serão caracterizados por um elevado grau de captura autônoma de dados, transferência de eventos, conectividade e interoperabilidade de rede.”

A Internet das Coisas estabelece uma nova fronteira para a sociedade da informação como conhecemos hoje, onde a ubiquidade e pervasividade da rede abrirá possibilidades para aplicações diversas.

No contexto dos Sistemas Inteligentes de Transportes, a Internet das Coisas poderia impactar diretamente. A quantidade de informações trocadas através de mecanismos V2I – entre os veículos e a infraestrutura – V2V – de veículo para veículo – C2C – entre carros – e I2I – entre dispositivos que formam a infraestrutura (como sinalizações, semáforos e leitores RFID) – irá expandir as possibilidades de avaliar os sistemas de transporte com base em dados reais coletados e oferecidos aos usuários e administradores do mesmo. Isso afeta o planejamento e a execução de políticas públicas, fazendo com que as mesmas sejam baseadas em métricas, o que traz mecanismos mais eficientes para a gestão dos sistemas de transportes.

A Figura 8 mostra uma arquitetura generalista de um sistema compatível com a mentalidade da IoT. A informação é colhida por agentes que trabalham na borda do sistema, ou seja, localmente, utilizando recursos dos dispositivos que compõe esta arquitetura física para colher dados e comunicá-los na rede. Através desta arquitetura local pode-se pensar também em processos de atuação e instrumentação do mundo real, provendo recursos distribuídos de atuação e sensoriamento.

Além da arquitetura de borda, mostrada na Figura 8, pode-se ainda destacar a arquitetura principal. Esta parte do sistema, no contexto da IoT é composta por serviços na rede, os quais recebem a informação distribuída, a armazena em bancos de dados, através de Aplicações e Interfaces de Captura. Estes serviços possuem interface direta com Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados, ou SGBD, que oferecem ainda recursos de sincronização remota destes bancos, sem deixar de suportar acessos *offline* em períodos de ausência de rede.

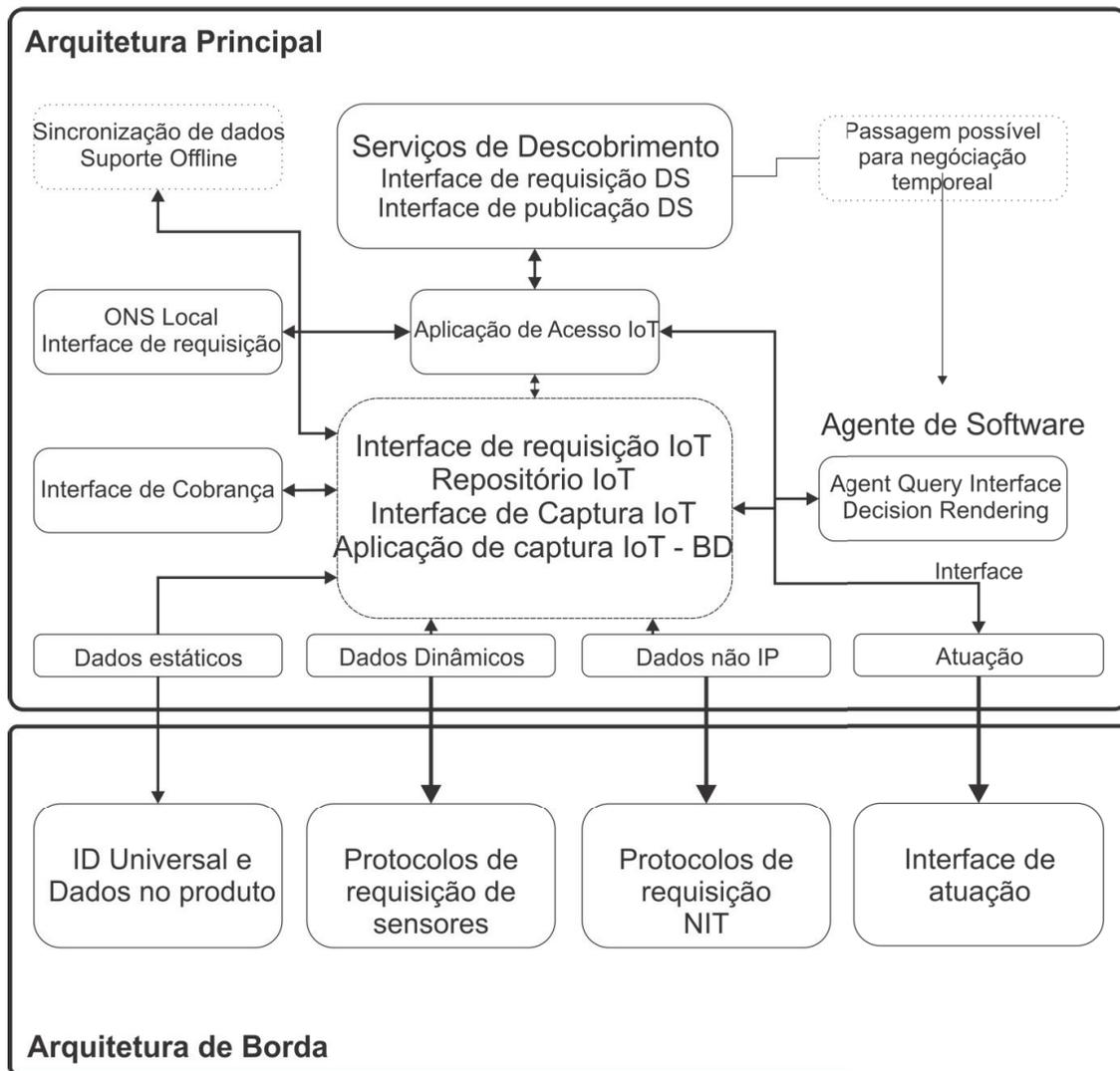


Figura 8 – Arquitetura de um sistema alinhado a IoT. Ilustração de recursos e interfaces.

Adaptado de (UCKELMANN, HARRISON e MICHAHELLES, 2011)

Para o caso de aplicações RFID, combina-se este modelo estrutural ao proposto pelo EPC para compor aplicações voltadas a IoT. Apesar do modelo proposto pelo EPC propor uma arquitetura protocolar base para que aplicações sejam elaboradas, muitas vezes obtêm-se uma aplicação localizada, que pode compor uma “Intranet das Coisas”, mas não uma “Internet das Coisas” (UCKELMANN, HARRISON e MICHAHELLES, 2011). Isso porque este modelo

permite a criação de serviços proprietários e localizados, e que não necessariamente conduzem aplicações facilmente interconectáveis e integráveis.

Nestes casos, de aplicações utilizando identificação por radiofrequência, uma vez que a informação é recolhida por leitores RFID ou mecanismos de captura são necessárias algumas operações até que estas sejam disponibilizadas para aplicações superiores que cumprem objetivos específicos. Leitores são configurados através do protocolo LLRP, o qual pode ser oferecido ao desenvolvedor por uma ferramenta ALE, como é o caso do *middleware Fosstrak* (FOSSTRAK, 2012), por exemplo.

O protocolo ALE disponibiliza interfaces que configuram estes leitores, filtram a informação colhida, e realiza procedimentos de agregação, fornecendo para agentes superiores esta informação já tratada. O EPC Global sugere a utilização do EPCIS para capturar esta informação, e armazená-la em bancos de dados que refletem valores do negócio, específicos para cada aplicação.

Para construir, um agente de *software* adaptável, escalável e interoperável, capaz de manter bases de dados locais e sincronizar bases com serviços na rede, é importante fundamentar o projeto com a escolha de uma arquitetura de referência que estabeleça modelos macro e procedimentos padrões para alcançar estes objetivos.

Estas considerações esclarecem porque é importante utilizar uma arquitetura de referência para o desenvolvimento de trabalhos alinhados com Internet das Coisas. O modelo representado na Figura 8 representa os recursos que devem ser oferecidos, de forma macro, quando um modelo IoT é pensado. Essa foi, de fato, uma tentativa inicial de propor esta arquitetura de referência (UCKELMANN, HARRISON e MICHAHELLES, 2011).

Para tal, compreende-se que o projeto IoT-A pode ser a resposta a esta necessidade de utilização de um *framework* estruturado e procedimentos bem desenhados que embasem o design deste sistema. As próximas seções descrevem como o projeto de um sistema voltado a Internet das Coisas deve ser pensado, quais são os componentes de maior relevância e como aplicações podem se tornar mais escaláveis, integráveis e interoperáveis.

São propostas 3 modelagens, de forma simplificada para aplicação da metodologia neste trabalho, a primeira, e mais abrangente, é a Modelagem de Domínio. Então é proposto o Modelo de Informação e o Modelo Funcional. São mostradas ainda melhores práticas e recomendações de

como elaborar uma arquitetura, as quais são levadas em consideração no estudo de caso proposto por este trabalho.

Isso embasou a definição de uma arquitetura física compatível ao projeto, e estabeleceu um ponto de partida desejável.

2.3.1 O Modelo MVC

A comunicação através da Internet é premissa desse projeto. Um serviço web será utilizado para manter bases de dados persistentes e coordenar os recursos que dependam dele. Um sistema web habilita o aumento da escalabilidade e permite interoperabilidade entre sistemas coexistentes, sendo de grande relevância ao projeto.

Será utilizado para a execução da proposta o modelo arquitetural MVC (PLAY FRAMEWORK, 2011). Este modelo divide a aplicação em camadas distintas: a camada de apresentação e a camada de modelo (do inglês Model). A camada de apresentação é ainda dividida em exibição (do inglês View) e uma camada de controle (do inglês Controllers).

- O Modelo é a representação específica do domínio da informação em que a aplicação opera. A lógica de domínio acrescenta “significado” aos dados brutos. A maioria das aplicações usa um mecanismo de armazenamento persistente, como um banco de dados para armazenar dados. Neste caso, a camada não menciona especificamente a camada de acesso aos dados, pois está encapsulada pelo modelo;
- A Exibição transforma o modelo para forma adequada para as interações com os usuários, geralmente através de uma interface de usuário. Múltiplas visões podem existir para um único modelo, para diferentes fins. Em uma aplicação Web a visão normalmente é processada em um formato web, como HTML, XML ou JSON. No entanto, em alguns casos ela pode ser expressa em forma binária, por exemplo, apresentando dinamicamente diagramas e gráficos;
- O Controle responde aos eventos (ações típicas de usuários) e os processa, e também pode invocar alterações no modelo. Em um aplicativo web, os eventos são tipicamente

solicitações HTTP, ou seja, um controlador recebe solicitações HTTP, extrai dados relevantes do evento, e as processa, causando, ou não, alterações em modelos.

Esta aplicação web realizará interface com usuários e se comunicará com dispositivos remotos com o objetivo de sincronizar bases de dados que apoiarão tomadas de decisões e, conseqüentemente, o serviço de controle de acesso veicular. A Figura 9 mostra a comunicação de um sistema web baseado neste modelo, com foco na requisição HTTP.

Este requisito representa posteriormente uma oportunidade para construção de sistema que utilizam a grande quantidade de dados gerada (“*BigData*”) (GUTERMAN, 2009) para oferecer informações de valor baseada nos eventos.

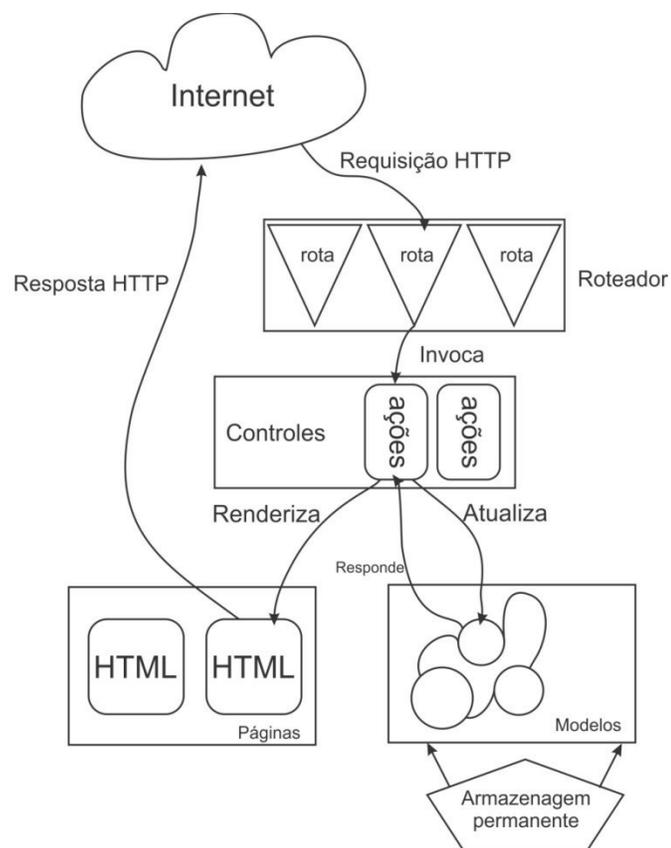


Figura 9 - Caminho de uma requisição HTTP no servidor, da requisição à resposta.

Adaptado de (PLAY FRAMEWORK, 2011).

3 METODOLOGIA

A metodologia proposta embasa os resultados. Inicialmente, são explicadas as modelagens conceituais utilizadas no trabalho e então é mostrada como compor estes modelos para elaborar uma arquitetura e projetar um sistema. Posteriormente estes modelos serão aplicados para algumas das aplicações mostradas na seção 4. A escolha deste modelo de referência foi essencial para os resultados. Através dele uma arquitetura física de hardware foi definida, e então utilizada no estudo de caso. Além disso, pode-se visualizar o projeto do software em sua totalidade, o que antevê a complexidade real e tomadas de decisão com relação às escolhas de design propriamente ditas.

3.1. Definição da Arquitetura

A definição de uma arquitetura, de acordo com o projeto IoT-A é acompanhada por uma série de melhores práticas que guiam arquitetos de sistemas a projetar arquiteturas para domínios específicos de forma mais fácil e rápida.

Estas melhores práticas são constituídas por três pilares principais:

- **Manual:** Esta coluna é constituída por sete blocos. Os primeiros correspondem a utilização dos modelos propostos pelo próprio framework proposto pelo IoT-A, são eles: Modelagem de Domínio, Modelagem da Informação, Modelagem da Comunicação, Modelagem Funcional e Segurança. Os blocos superiores tratam das perspectivas e do processo de implementação que um arquiteto de sistema deve considerar quando do projeto.

- **Passos:** Esta coluna é constituída por três blocos, sendo que o primeiro oferece uma discussão sobre o número de escolhas de design que recaem sobre as diversas modelagens. Na parte superior, ou Análise de Riscos, busca avaliar os riscos inerentes a um projeto IoT.

- **Ilustração:** Esta coluna é constituída de dois blocos, sendo que o bloco de Mapeamento Reverso busca investigar a generalidade do modelo IoT proposto, aplicando exercício de mapeamento de arquiteturas de sistemas existentes. O bloco de Casos de Uso analisa aplicações

específicas ao domínio proposto e destaca o modelo de decisão adotado para modelar as aplicações através do Modelo Arquitetural de Referência e também da Arquitetura de Referência.

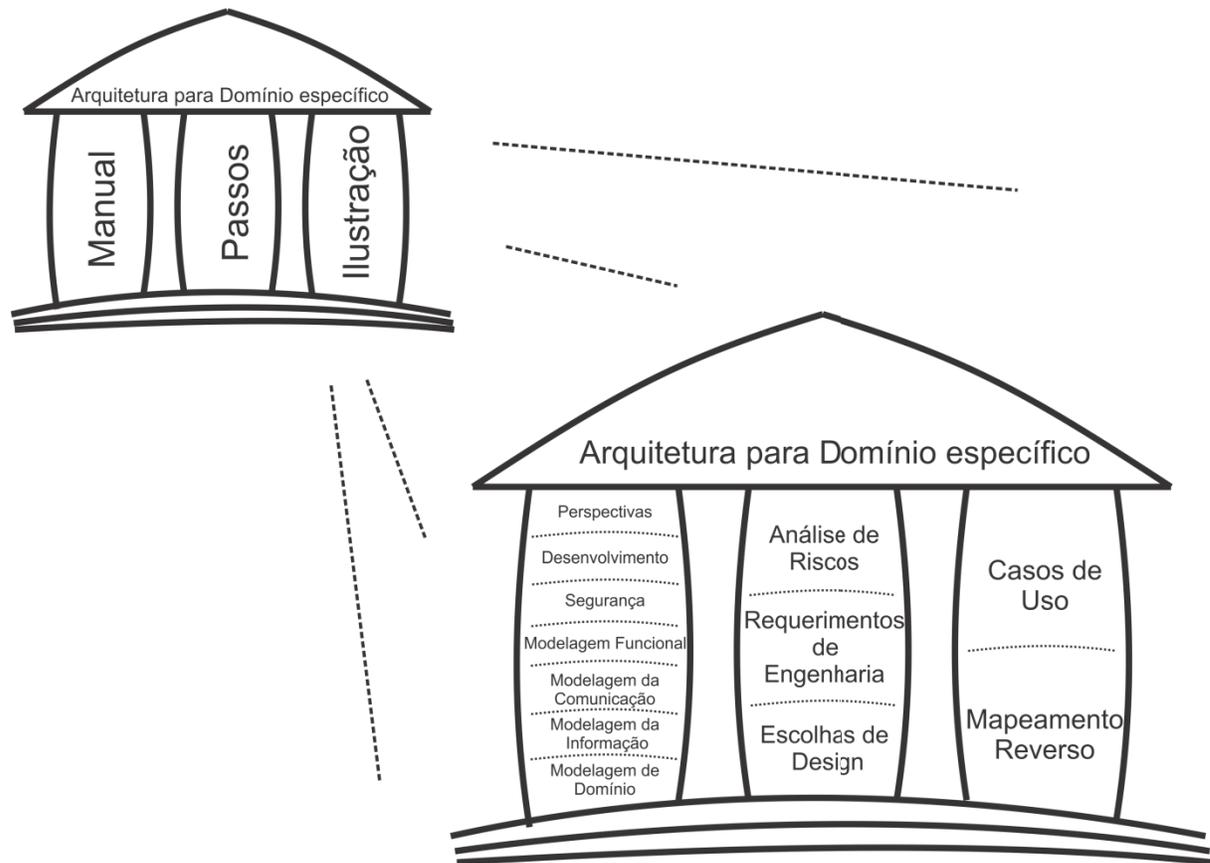


Figura 10 – Modelo de Referência para Design de sistemas. (MAGERKURTH, 2013)

3.2. Modelo de Domínio

O Modelo de Domínio proposto pelo projeto IoT-A define uma descrição de conceitos pertencentes a uma área de interesse. O modelo de domínio, mostrado na Figura 11, define atributos básicos destes objetos, como nome e identificação. Ele também define relação entre os objetos facilitando a troca de dados entre domínios. O Modelo de Domínio proposto é uma parte importante de qualquer modelo de referência pois inclui a definição de vários conceitos abstratos,

suas responsabilidades e suas relações. Ele não trata tecnologias particulares, mas sim suas abstrações quando da modelagem do sistema IoT.

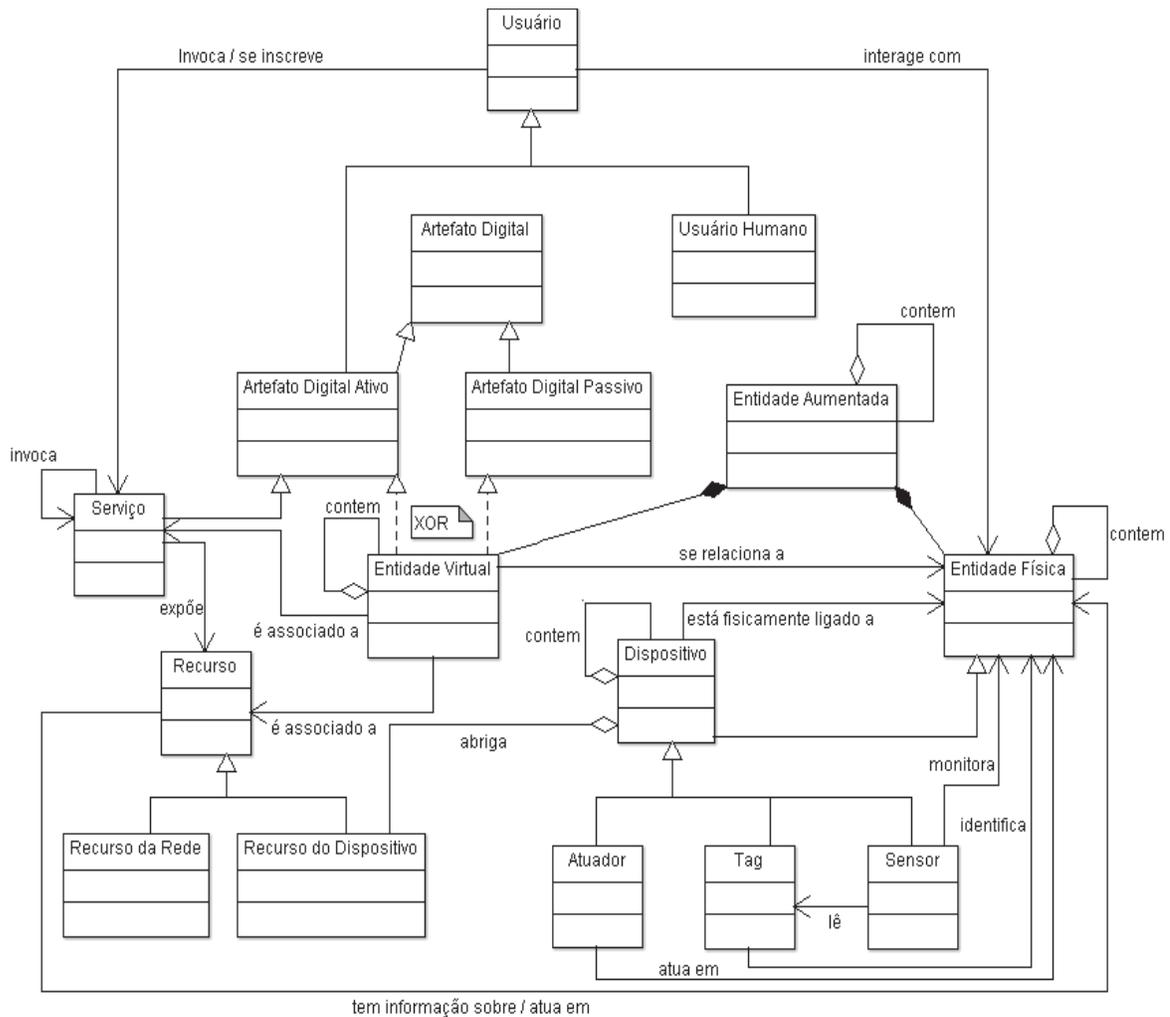


Figura 11 - Modelo de Domínio. Adaptado de (MAGERKURTH, 2013)

Dessa forma, é relevante que os conceitos envolvidos nesta modelagem sejam explicitados. Um cenário para a IoT pode ser descrito, de forma genérica, como um Usuário querendo interagir com uma Entidade Física do mundo real. O Usuário pode ser então um Usuário Humano, ou então ou Artefato Digital. Quando humano, ele acessará os serviços através de um serviço cliente (que é um software com uma interface acessível ao usuário). Já a Entidade Física é uma parte

identificável e discreta do mundo ambiente físico de interesse do usuário para cumprir aos seus objetivos. Entidade física pode ser todo e qualquer tipo de “coisa” do mundo real, de computadores, a carros, animais, ou itens que as pessoas consomem cotidianamente.

Entidades físicas são representadas no mundo virtual por Entidades Virtuais, que podem assumir suas diversas formas, como um modelo 3D, avatares, entradas de bancos de dados, objetos, instâncias de classe, ou então, uma conta em uma rede social qualquer, por exemplo. Neste cenário, elas possuem duas propriedades fundamentais, são elas: (1) São Artefatos Digitais. Entidades Virtuais representam apenas uma Entidade Física. Mas, Entidades Físicas podem ter a ela associadas inúmeras Entidades Virtuais. Cada *Entidade Virtual* possui um, e apenas um, *ID* que a identifica unicamente. Então, *Entidades Virtuais* são *Artefatos Digitais* passivos (como entrada de bases de dados ou representações digitais) ou ativos (como componentes de software que acessam outros serviços ou recursos). (2) Entidades Virtuais são representações sincronizadas de uma série de aspectos ou propriedades da Entidade Física. Isso indica que os parâmetros digitais de interesse de uma *Entidade Física* são atualizados ao passo que mudanças ocorrem. Da mesma forma, mudanças na *Entidade Virtual* podem se manifestar na *Entidade Física* correspondente.

Uma *Entidade Aumentada* é a composição de uma *Entidade Virtual* a uma *Entidade Física*, a qual ela está associada. A *Entidade Aumentada* é então o que permite que coisas cotidianas passem a interagir com o mundo virtual, sendo parte do processo.

Esta relação entre a Entidade Física e a Entidade Virtual normalmente é conseguida quando um dispositivo eletrônico com capacidade computacional é embutido no objeto físico, parte do ambiente. Chama-se, então, este de *Dispositivo*, e ele faz com que seja aumentada a capacidade do objeto físico, e agir de forma mais inteligente do que outros objetos comuns, ganhando o nome de *SmartThing*, ou “Coisa Inteligente”. *Dispositivos* são então artefatos técnicos responsáveis por estabelecer a ponte entre o mundo real das *Entidades Físicas* com o mundo digital da Internet. *Dispositivos* também podem ser modelados como *Entidades Físicas* em diversas aplicações.

São três os tipos de *Dispositivos* de interesse:

- Sensores que provêm informação da Entidade Física que monitoram;
- Tags, ou identificadores, que identificam Entidades Físicas às quais estão associadas.

- Atuadores que podem alterar o estado físico da Entidade Física.

Recursos são componentes de software que provê informações ou ativa um atuador em *Entidades Físicas*. Eles normalmente possuem interfaces nativas. *Recursos* podem estar contidos no *Dispositivo*, sendo assim, *Recursos do Dispositivo*, ou então podem estar na rede, sendo assim, *Recursos da Rede*, estando localizados em algum local da nuvem (Internet).

Recursos são oferecidos por *Serviços*, os quais provêm uma interface bem definida e padronizada que ofereça todas as funcionalidades necessárias para a interação com Entidades Físicas. No level mais baixo, *Serviços* expõem as funcionalidades de um *Dispositivo* através dos *Recursos* que possuem. A relação, então, de Entidades Virtuais e seus Recursos é modelada por associações entre Entidades Virtuais e Serviços.

3.3. Modelo de Informação

O Modelo de Informação, mostrado na Figura 12, define a estrutura que toda informação é manejada pelo sistema em um nível conceitual. A descrição da representação da informação (como por exemplo, descrição de XMLs ou RDFs e sua estrutura) não são parte deste modelo.

O Modelo de Informação proposto pelo IoT-A detalha a modelagem de uma Entidade Virtual, e por isso possui expressiva relação com o Modelo de Domínio. Esta Entidade Virtual possui um nome e tipo, e um ou mais valores, aos quais meta-informações podem estar associadas (MAGERKURTH, 2013).

Os principais aspectos tratados pelos modelos são as Entidades Virtuais, Descrições de Serviço e Associações. Como já dito, uma Entidade Virtual modela uma Entidade Física e uma Descrição de Serviço descreve um serviço que age como uma ponte ao mundo físico. Através de uma Associação se modela a conexão entre um Atributo de uma Entidade Virtual e a Descrição do Serviço.

Cada Entidade Virtual tem um ID único e um Tipo de Entidade, que define o tipo de Entidade Virtual representada, ou seja, um humano, um carro ou algum sensor. Neste ponto, o Tipo de Entidade pode ter relação com conceitos e ontologias que podem definir que tipo de atributo uma Entidade Virtual pode ter. Cada Container de Valor agrupa um Valor e de 0 a n

metadados possuídos por ele, como por exemplo, um *timestamp* (ou estampa de tempo, na programação conhecido por atribuir data e hora à informação associada) ou outros parâmetros qualitativos de medição, por exemplo. Uma Entidade de Associação de Serviço conecta uma Entidade Virtual e uma Descrição de Serviço.

Uma descrição de Serviço descreve os aspectos relevantes de um Serviço, incluindo sua interface. Além disso, pode conter uma ou mais Descrição de Recurso que descreve um Recurso, que possui uma funcionalidade descrita pelo Serviço. A Descrição de recurso pode conter informação sobre o Dispositivo no qual o Recurso se localiza.

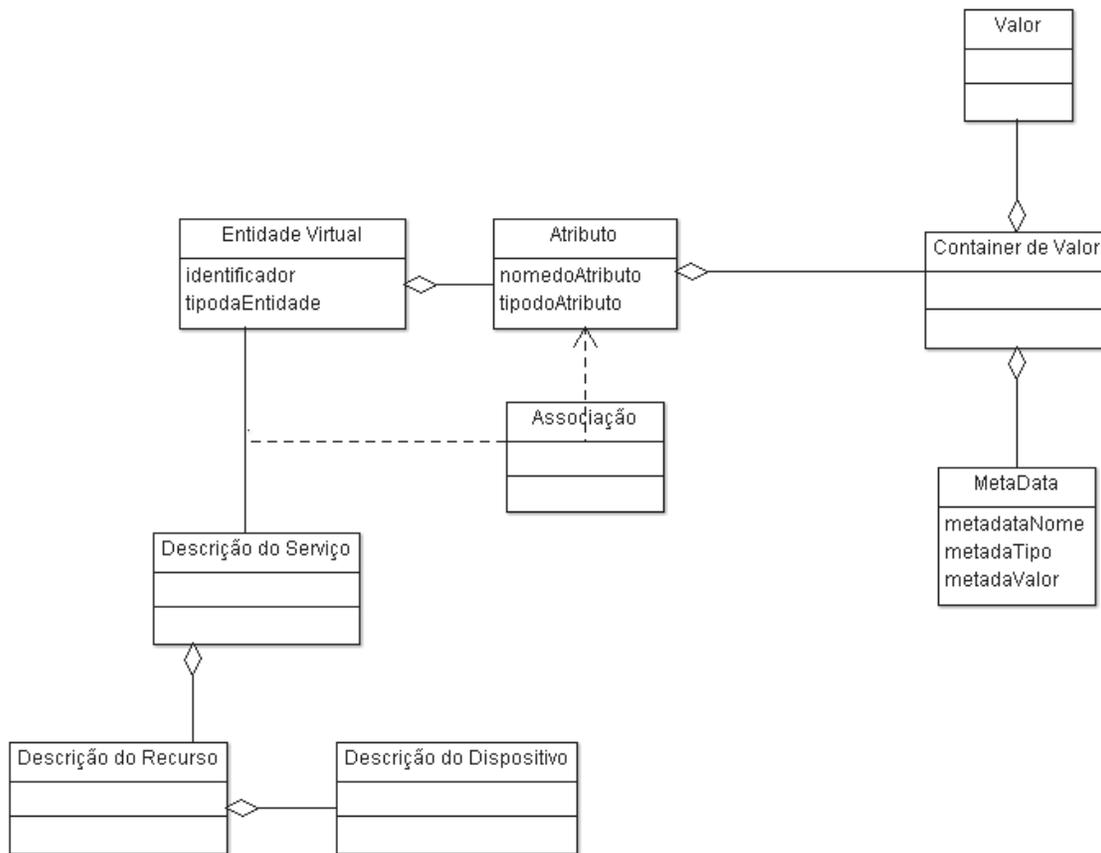


Figura 12 – Modelo de Informação. Adaptado de (MAGERKURTH, 2013).

3.4. Modelo Funcional

O Modelo Funcional é composto por sete grupos funcionais longitudinais e dois transversais. O grupo transversal provê funcionalidade de segurança e gerenciamento para cada grupo longitudinal. O modelo é mostra na Figura 13.

O grupo funcional de Gerenciamento de Processos de Negócio IoT é responsável por integrar processos de negócio tradicionais ao sistema projetado baseado no framework IoT-A. Dessa forma, negócios podem se beneficiar de sistemas altamente integráveis baseados na Internet das Coisas, evitando soluções isoladas ou proprietárias derivadas de uma intranet das coisas.

O grupo funcional de Organização do Serviço é uma peça chave na comunicação entre os blocos, agindo como um hub para vários outros grupos funcionais. Este grupo funcional é usado para compor e orquestrar serviços de diferentes níveis de abstração. Ele liga a requisição de serviços de grupos de alto nível, como do Gerenciamento de Processos de Negócio IoT, a serviços básicos providos pelo sistema IoT.

O grupo funcional Entidade Virtual é responsável por trazer a este contexto algo que modele a Entidade Virtual, e conseqüentemente a Entidade Física. Ele contém funções para interagir com o sistema IoT na base de Entidade Virtuais e funcionalidades de descobrimento e busca de serviços que podem fornecer informações sobre as Entidades Virtuais, ou permitir interação com elas. Além disso, esse grupo funcional contém todas as funcionalidades necessárias para gerenciar associações, assim como encontrar novas associações e monitorar sua validade, através da mobilidade de Entidades Virtuais e Dispositivos.

O grupo funcional de Serviços IoT contém serviços e funcionalidades de descobrimento, busca, e resolução de nomes para os serviços voltados a IoT.

O bloco de comunicação busca suprir todas as necessidades de comunicação de sistemas compatíveis com as definições do projeto IoT-A. Ele fornece ao sistema alvo endereçamento, cálculo e propagação de rotas, com o objetivo de superar as limitações da comunicação “ponto-a-ponto” exigida por alguns tipos de redes, como as RSSFs – Redes de Sensores Sem Fio. Esta camada garante também otimização da energia, funções de exposição, lidando diretamente com o controle do rádio (necessário em algum tipo de rede), e também com os ciclos de trabalhos da

aplicação. Esta camada deve também fornecer interoperabilidade entre diferentes tipos de rede, permitindo que Dispositivos sejam pontos de acesso para redes, e implementando redirecionamento, filtragem, rastreamento de conexão, e funções para agregação de pacotes.

O grupo funcional transversal de gerenciamento é responsável por quatro funcionalidades, são elas: (1) Redução de custos; (2) Atender demandas de usuários não previstas, (3) Gerenciar falhas, e (4) Flexibilidade.

Por fim, o grupo funcional transversal de Segurança é responsável por assegurar a segurança e privacidade dos sistemas projetados. Ela deve assegurar que apenas clientes legítimos acessem os serviços da infraestrutura IoT projetada. Ela também deve permitir que a privacidade dos clientes seja mantida, fornecendo um gerenciamento de identidade refinado que permita que vários identificadores sejam passados a um único usuário de forma pseudorrandômica.

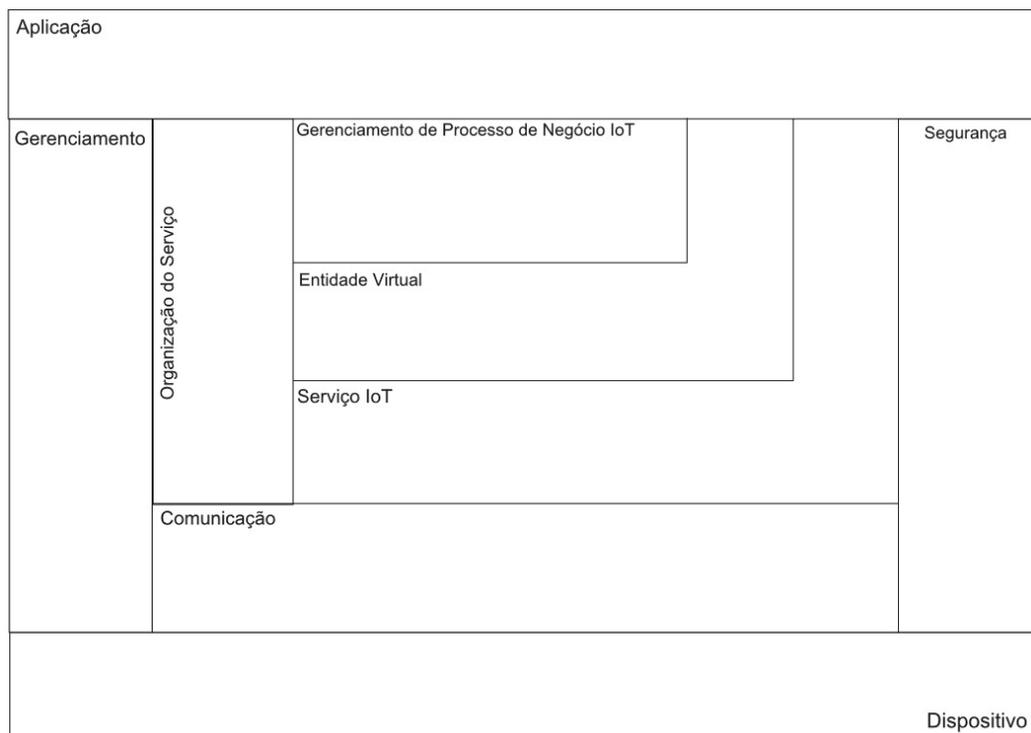


Figura 13 – Modelo Funcional. Adaptado de (MAGERKURTH, 2013).

4 REVISÃO DE APLICAÇÕES RELACIONADAS

Os impactos de determinar uma arquitetura focada na Internet das Coisas para aplicações relacionadas aos Sistemas de Transportes estão diretamente relacionados às aplicações que podem ser integradas a esta arquitetura, utilizando as informações e a infraestrutura disponibilizada por outros serviços. A seguir estas aplicações são mostradas em formato de revisão da literatura, sendo que suas possibilidades são expandidas por este trabalho, uma vez que o conceito de IoT está no foco. Dentre as aplicações que podem ser vislumbradas com esta mentalidade, cita-se:

- Controle de acesso veicular a locais restritos utilizando uma arquitetura em nuvem. Neste caso os dados seriam colhidos localmente e enviados a serviços web na nuvem, de tal forma que seja oferecida uma interface através da web ou de dispositivos móveis para que ele interaja com o sistema. Sendo assim, por exemplo, um condomínio com o sistema instalado pode oferecer o serviço de autorização de entrada no estacionamento através da Internet, onde o usuário solicita permissão para entrar diretamente ao condômino, sem cadastro e intervenção na portaria.
- Previsão de congestionamentos e informação destes à população. Serviços *crowdsourcing* como o Israelense Waze e o brasileiro Wabbers, vem ganhando popularidade através do oferecimento de uma plataforma de navegação GPS para os usuários que queiram saber como está o trânsito neste momento. Uma ferramenta de previsão de congestionamentos pode complementar esse serviço, oferecendo dados mais precisos e de forma automática aos usuários;
- Detecção de veículos roubados, e em situação irregular de documentação, e oferecimento de dados às autoridades. Isso permite a visualização em tempo real, através de ferramentas web ou móveis, de veículos em situação irregular, de forma ativa ou passiva, sendo que este será identificado sempre que passar por uma estação de fiscalização, ou mesmo por leitores localizados nas vias públicas;
- Previsão de horário de transporte público urbano e oferecimento à população desta informação, através de tecnologias modernas relacionadas à Internet e dispositivos Mobile. O

funcionamento de um sistema como esse exige que pontos de ônibus sejam equipados com leitores RFID e que a informação colhida nestes pontos seja utilizada por uma aplicação que, sabendo a rota predeterminada para determinada linha, atualize as informações em tempo real, permitindo que uma aplicação mobile forneça dados sobre os horários atualizados;

- Controle logístico de acesso de caminhões a pátios de empresas e portos, mediante transferência de informações relevantes entre agentes da cadeia produtiva. Neste caso, uma aplicação voltada à logística com alto valor agregado, uma vez que auxilia também a troca de informações pela cadeia logística, pode funcionar através da agregação de dados dos produtos transportados por caminhões. Assim um caminhão pode agregar informações dos produtos que carrega, fornecendo esta informação para agentes de negócio distintos em uma mesma cadeia logística, tratando assim problemas de não compatibilidade entre os fluxos de informação e de materiais.

Este trabalho utiliza a aplicação de acesso veicular a locais restritos, seção 4.1, para a elaboração de uma prova de conceito. Para a Modelagem e Design do projeto, extrapola-se o que pode ser feito utilizando a tecnologia RFID e a mentalidade da Internet das Coisas com o objetivo de propor arquitetura e projeto de um sistema que utilize o mesmo arranjo de dispositivos para oferecer as aplicações descritas nas seções 4.2, 4.3 e 4.4.

4.1. Controle de acesso veicular a locais restritos

Como previsto por (GANESAN e VIGNESH, 2007) a tecnologia RFID pode ser utilizada com o objetivo de controlar vagas de estacionamentos, que em última análise, é um sistema de acesso veicular a locais restritos. A identificação dos veículos por etiquetas eletrônicas e o posicionamento de leitores nas áreas de entrada e saída do estacionamento permitem que este tipo de implementação seja viabilizada.

Expandindo o conceito de estacionamento para locais restritos, pode-se realizar o controle de acesso veicular a qualquer local que possua entradas e saídas específicas, como por exemplo, uma cidade universitária, condomínios residenciais e comerciais, ou mesmo cidades inteligentes

inteiras. Uma aplicação que controle as entradas e saídas destes locais, ou apenas monitore, traz inúmeras vantagens a sistemas de acesso que vêm sendo implantados com o mesmo fim.

O objetivo é então implantar leitores em entradas e saídas, em conjunto com sensores e atuadores, para controlar a entrada e saída de veículos destes locais. A identificação deste veículo, e o compartilhamento da informação captada nestes pontos, permitem que outras funcionalidades sejam agregadas a este sistema. Por exemplo, pode-se citar a contagem dos veículos que estão dentro deste local, calculando as vagas de estacionamento desocupadas, possibilitando que placas eletrônicas de sinalização auxiliem o motorista em sua busca por vagas.

Além disso, pode-se propor uma interface de cadastramento veicular mais simples e intuitiva, que independa da alocação de funcionários nas entradas destes locais para a atividade - como pode ser observado atualmente em condomínios residenciais ou comerciais. Desta forma, pode-se estabelecer um sistema de cadastro integrado a um sistema de pagamento, comparado a sistemas comerciais de pagamento atuais, como o SEM-PARAR, ConnectCar e Via Fácil.

A mentalidade da Internet das Coisas quando da implementação de um sistema como este permite que uma base de dados de carros cadastrados seja compartilhada entre diversos agentes que tenham interesses em comum, facilitando dessa forma o acesso de veículos já cadastrados a qualquer sistema que possua uma interface com esta base de dados.

Isso é possível através do oferecimento de uma API pública, oferecida mediante mecanismos que garantam a segurança e privacidade das informações. Nesse cenário, um serviço distinto poderia ter acesso a estas informações quando necessário, através de solicitações de acesso ou consulta na base de dados. O SINIAV, inclusive, oferece infraestrutura nacional de suporte a tecnologia, pode se utilizar deste tipo de recurso para prover maiores possibilidades aos desenvolvedores de aplicações que não necessariamente estão no escopo do projeto. A abrangência desta mentalidade poderia impactar positivamente na viabilidade econômica e financeira do projeto, uma vez que estas consultas podem ser cobradas, uma vez que aplicações de cunho mercadológico se aproveitariam da infraestrutura provida pelo projeto.

A Figura 14 mostra a arquitetura do software proposto, e contrasta com a disposição espacial do hardware. O intuito de exemplificar o sistema e como ele foi implementado localmente.

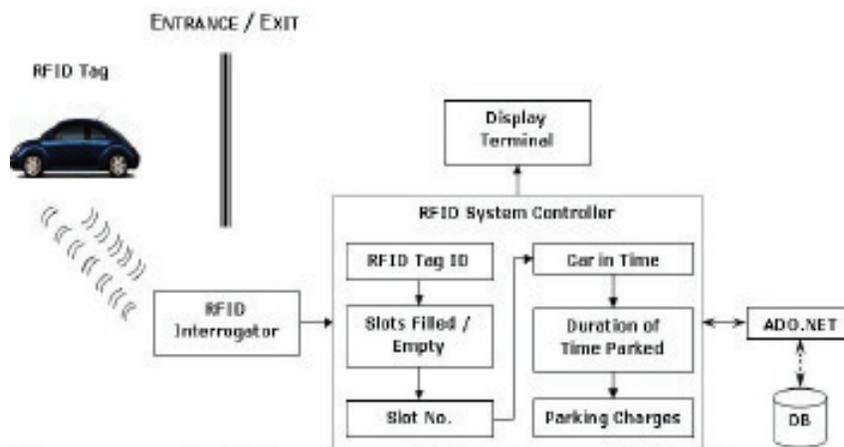


Figura 14 – Arquitetura proposta em (GANESAN e VIGNESH, 2007) para alocação de estacionamento automático.

Apesar desta implementação não prever como isso pode ser influenciado pela IoT, ela consegue demonstrar os benefícios da adoção de um sistema como este.

4.2. Detecção de congestionamentos

Conforme descrito por (AL-NAIMA e HAMD, 2012) pode-se utilizar uma infraestrutura RFID para previsão e detecção de congestionamentos nas vias públicas. Inserindo leitores em pontos de interesse, pode-se prever o comportamento do tráfego de forma mais efetiva, oferecendo aos motoristas informações de valor para tomada de decisão em loco. A Figura 15 mostra o arranjo de dispositivos para o sistema.

Uma aplicação como esta impactaria positivamente na economia de combustível e no tempo gasto no trânsito. Impactaria também no número de acidentes causados por paradas abruptas causadas por engarrafamentos que emergem de forma inesperada.

Outras tecnologias podem ser utilizadas para aplicações semelhantes, conforme previsto por (LAISHENG, XIAOHONG, *et al.*, 2009). Redes sensoras sem fio são utilizadas em aplicações que rodam em hardwares descentralizados com o objetivo de colher informações

remotamente. Estas informações são comunicadas através de dispositivos autônomos restritos em suas diversas capacidades (computacionais, como processamento e memória; comunicação, como banda de transmissão e distância de comunicação; e energéticas por normalmente monitorarem regiões remotas nas quais o acesso a fontes de alimentação não é trivial).

A utilização de diversas tecnologias para um mesmo fim não é algo incomum no contexto da Internet das Coisas. Conforme mostrado na seção 2.2, a interoperabilidade entre tecnologias, e a cooperação destas no desenvolvimento de aplicações com fins comuns, é característica intrínseca desta possível nova fase da Sociedade da Informação. Estabelecer um conjunto de regras para atingir esta interoperabilidade é fonte de esforços de pesquisa constantes. O projeto IoT-A, conforme foi dito, foca este aspecto.

Uma aplicação como esta pode ser baseada em variáveis já conhecidas da implementação RFID, como RSSI (Indicação da Intensidade do Sinal Recebido, traduzido do inglês, *Received Signal Strength Indication*) e número de leituras semelhantes em ciclos de operação consecutivos.

Dada a hipótese de superação de problemas de interoperabilidade, podem-se imaginar aplicações onde a previsão e detecção de congestionamentos estejam integradas a aplicações móveis que oferecem informações a condutores através de interfaces simples e intuitivas, integrando aplicações já conhecidas atualmente, como a israelense Waze, ou a brasileira Wabbers. Através da integração da infraestrutura RFID ou RSSF pode-se colher informações que, integradas a sistemas embarcados nos veículos, possam contribuir para comandos autônomos de segurança frente a situações inesperadas, as quais os condutores não conseguiriam gerenciar sem o auxílio deste sistema. Conforme dito na seção 2.1.4, pode-se utilizar a detecção de congestionamento em conjunto com recursos para cálculo de rotas e também com informações providas pelos próprios motoristas. Com isso, um aplicativo para smartphone poderia se integrar com os recursos providos por estas aplicações.

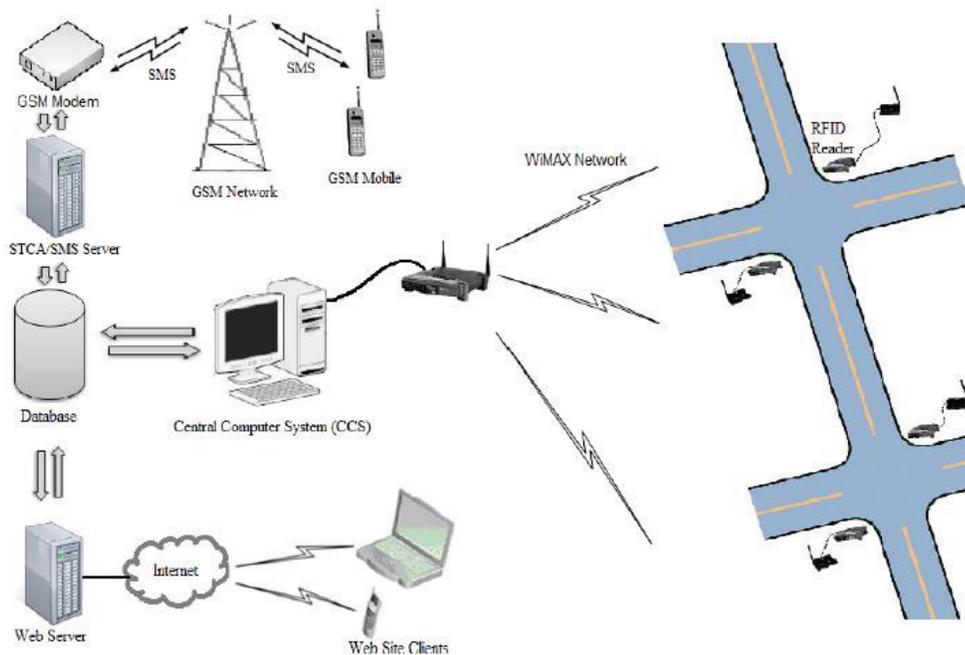


Figura 15 – Disposição espacial de leitores RFID e arquitetura lógica para detecção automática de congestionamentos. Retirado de (AL-NAIMA e HAMD, 2012).

4.3. Previsibilidade de horários do transporte público

Aplicações que beneficiem os transportes públicos também podem ser pensadas. A inserção de infraestrutura RFID em vias públicas possibilita que informações dos meios de transporte coletivo sejam colhidas em tempo real, permitindo que sistemas de previsibilidade de horários sejam criados para utilizar esta informação e oferecê-la aos usuários. Neste ponto, pode-se novamente pensar em utilizar esta informação através de aplicações web e oferecê-las aos usuários através de dispositivos móveis, ou indicações em loco, ou seja, nos próprios pontos de ônibus.

De acordo com (VANITCHAKORNPONG, INDRA-PAYOONG, *et al.*, 2012) trabalha com um arranjo de dispositivos conforme mostrado na Figura 16. Este sistema pode contribuir positivamente ao sistema de transporte urbano. Em um piloto em Bangkok, foi detectado

aumento do nível de serviço dos ônibus de uma determinada linha – utilizada para o piloto – em comparação com outras nas quais o sistema não foi implantado.

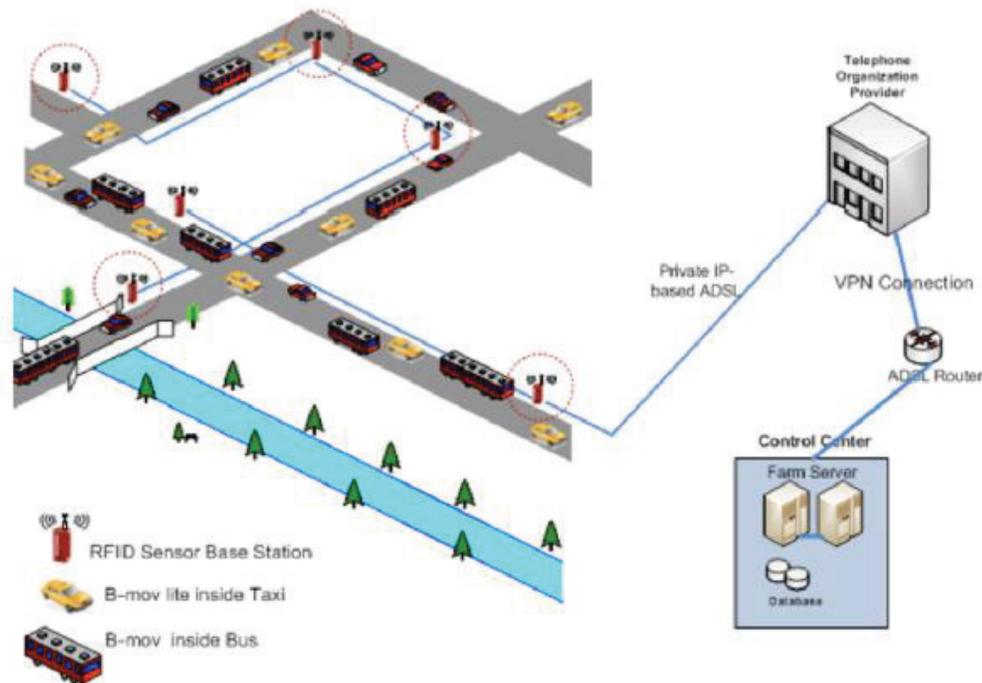


Figura 16 – Arquitetura espacial das bases RFID e camadas de conexão para detecção de horário do transporte coletivo. Retirado de (VANITCHAKORNPONG, INDRA-PAYOONG, *et al.*, 2012).

Para tal, pode-se posicionar leitores RFID nos pontos de ônibus, sendo que a cada passagem o tempo de espera para a próxima estação seja atualizado, de tal forma que um acompanhamento em tempo real da localização do ônibus ocorra. Outra possibilidade seria aproveitar a infraestrutura RFID já instalada nas vias públicas, em detrimento daquela primeira proposta onde estes se estariam nos próprios pontos, para que o acompanhamento seja executado. Para tanto, seria necessário foco na interoperabilidade dos sistemas, uma vez que os leitores das vias podem ser reaproveitados para diversos fins. Nesse ponto, nota-se que a mentalidade da IoT nesse cenário pode, e deve, abrir inúmeras possibilidades de aplicações, as quais não podem ser tratadas isoladamente. Elas devem reaproveitar recursos já disponibilizados por outras aplicações

com o objetivo de prover ainda mais possibilidades aos projetistas de sistemas inteligentes de transportes, assim como aos usuários destes sistemas.

Uma aplicação neste sentido pode ampliar, em muito, a eficiência do sistema, reduzindo custos de operação e controlando com maior eficácia transições de passageiros entre os diversos meios de transporte, impondo métricas reais às operações.

4.4. Controle de sinalização interativa

Como já foi tratado na seção 2.1.3, a informação colhida por leitores, uma vez concentrada por serviços na rede em bases de dados estruturadas, deve ser processada e distribuída para elementos remotos, que podem utilizá-la para prover serviços aos usuários. Uma aplicação para controle de sinalização interativa vem de encontro com essa ideia, a Figura 17 mostra um exemplo de utilização destas placas de sinalização interativas. Elas localizadas remotamente pelas ruas e rodovias, a fim de orientar motoristas sobre eventos não esperados, como fatores climáticos, congestionamentos e obras, e também para alertas gerais, sobre velocidade e condutas defensivas favoráveis.

Uma aplicação que permita atualização de placas interativas de forma rápida e segura (SELVARAJAH, TULLY e BLYTHE, 2008) poderia embasar o desenvolvimento de um sistema de transporte que responda às necessidades imediatas. Na Alemanha, as chamadas Autobahns são conhecidas por não determinarem limites de velocidades aos veículos. Apesar disso, as vias são extremamente seguras e confiáveis. Isso porque a via responde às suas condições atuais, e isso de fato permite que o limite de velocidade seja retirado (além claro das condições infraestruturais presentes naquele país). Além deste fator infraestrutural, as Autobahns comunicam aos veículos o limite de velocidade da via, um mecanismo de comunicação I2V (Infraestrutura para o Veículo).

Uma aplicação que controle placas eletrônicas de sinalização interativa é focada em atuação, ou seja, ela deve analisar uma grande quantidade de dados para cumprir a objetivos específicos de atuação, que neste contexto é a alteração das mensagens mostradas aos motoristas.



Figura 17 - Placa de Sinalização Eletrônica. Um sistema RFID pode colher informações para controlar as placas de forma autônoma.

Isso porque, dada uma condição não favorável, como um acidente ou um congestionamento, faz-se necessário que os recursos desta aplicação saibam deste evento a fim de atuar nas placas sinalizadoras, alertando os motoristas e auxiliando no processo de tomada de decisão. Para tal, a principal tarefa destes recursos será minerar dados e os analisar de tal forma a encontrar estas situações. Este exemplo mostra claramente a necessidade de que as informações estejam armazenadas de forma estruturada, muitas das vezes utilizando conceitos de semântica web para tal, a fim de que essa busca seja facilitada. A Internet das Coisas inserida neste contexto vem de encontro com essas necessidades.

Extravasando esta visão para um contexto onde unidades embarcadas utilizam estas fontes de dados para criar interfaces, e as oferecer aos usuários do sistema de transporte, esta aplicação significa avanço significativo. Neste cenário o motorista conseguiria obter informações diretamente da infraestrutura que o circunda, sobre dados do sistema de transporte em tempo real, em loco (dentro do carro).

Vale novamente ressaltar que plataformas que utilizam *crowdsourcing* como fonte das informações, com o objetivo de oferecer dados sobre o sistema de transporte aos usuários, através de plataformas móveis vêm sendo adotadas pelo mercado. Uma iniciativa como esta deve complementar aquela, uma vez que representa esforço do detentor do sistema de transporte em questão, seja o Estado ou empresas privadas, de aumentar o controle e monitoramento das vias, oferecendo aos condutores ferramentas para a tomada de decisão. Disso compreende-se que ambas as aplicações precisam se integrar a fim de oferecer serviços mais abrangentes. Como sugerido na seção 1.1, a autonomia dos veículos, como uma visão futura, seria possibilitada por esse tipo de integração de sistemas e capacidades. Para tal, é necessário que uma “Internet das Coisas” seja pensada e estruturada.

4.5. Controle Logístico de Acesso a Pátios

O controle Logístico de Acesso a Pátios internos de empresas que compõe uma cadeia logística pode ser compreendido com um subtipo da aplicação citada na seção 4.1, porém possui características peculiares que a destaca, e por isso é importante tratá-la em âmbito distinto.

A semelhança entre os dois tipos de aplicação está, principalmente, na interação semelhante entre os agentes. Basicamente, trata-se de um veículo acessando um local restrito, porém, as diferenças entre esta e aquela aplicação estão na interação entre agentes distintos de uma cadeia logística utilizando uma etiqueta de radiofrequência como mecanismo de transporte físico dos dados.

Inicialmente, destacam-se dois agentes distintos, e para melhor compreensão, cita-se, como exemplo, um fabricante de bebidas e um fabricante de garrafas, fornecedor daquele. Supõe-se que o fabricante de garrafas X venda um lote de garrafas para o fabricante de bebidas Y (a partir deste momento eles são referidos por X e Y , simplificando a referência). Então um caminhão sai de X e vai para Y carregado com garrafas. Na portaria de X , ou em seu processo de despacho, garante-se que o material que está dentro do caminhão está registrado em bases de dados internas, agregados e ligados à identificação do caminhão. Ou seja, no sistema legado de um agente da

cadeia, no caso a empresa X, a identificação do caminhão está diretamente ligada aos materiais que ele transporta.

Ao chegar à portaria da empresa Y, ele se direciona a entrada, onde, através de um leitor, tem sua identificação reconhecida. Ele então consulta nas bases de dados de seus fornecedores esta identificação. Encontrando-a, ele então autentica seu acesso, utilizando mecanismos de segurança, com o objetivo de consultar nos registros de seu fornecedor os itens que estão naquele caminhão, e o que está prestes a receber. Então, um funcionário de Y pode realizar uma conferência simples para permitir a entrada dos produtos na empresa, validando a informação recebida, através do material presente no caminhão.

Seria ainda possível que todo o processo fosse automatizado, sem interferência humana em qualquer atividade, bastando para isso que os pallets e o material em trânsito fosse devidamente identificado com etiquetas RFID. Em um cenário ideal, a identificação seria realizada a nível de item, porém, a identificação a nível de paleta já permite que leitores e portais sejam projetados para identificar todos os itens carregados pelo caminhão. Permitindo que a conferência seja informatizada e automatizada.

Apesar da simplicidade aparente, a implementação de serviços como este não é trivial. Isso porque agentes distintos de uma mesma cadeia logística não possuem muitas semelhanças estruturais entre seus sistemas legados de gestão. Isso porque, quando foram desenvolvidos, a maior preocupação era estabelecer sistemas proprietários, os quais funcionariam também como mecanismos para se obter vantagens competitivas frente aos concorrentes. Nesse sentido, essa heterogeneidade representa um grande desafio para o estabelecimento de uma Internet das Coisas, e conseqüentemente, para a integração entre as informações de agentes logísticos distintos.

Esta aplicação é apenas citada no trabalho a título de relacionar as possibilidades proporcionadas pela tecnologia RFID no contexto logístico. O projeto Brasil-ID possui foco em utilizar esta tecnologia para fiscalizar e monitorar a movimentação de cargas em âmbito nacional. A Internet das Coisas pode otimizar a geração de valor para os agentes de uma cadeia logística, de tal forma que o fluxo de materiais passe a estar intimamente conectado ao fluxo de materiais. Isso reduziria os problemas relacionados a controles de estoque e inventário, que hoje causam grandes prejuízos financeiros para empresas que possuem foco na área logística.

5 Resultados

Os resultados deste trabalho são divididos entre uma modelagem e um estudo de caso. A modelagem não é refletida no estudo de caso. Este representa uma versão reduzida daquela, uma vez que a complexidade apresentada para a implementação de um sistema que a contemple integralmente foi considerada fora do escopo deste trabalho, fazendo parte dos trabalhos futuros derivados deste.

A modelagem busca contemplar o caráter de interoperabilidade entre aplicações previsto por modelos que se baseiam no paradigma da Internet das Coisas. Aplicações voltadas a IoT não podem ser estudadas como ilhas (neste ponto entende-se por ilha uma aplicação isolada, que não se comunica e interage com outras), mas sim como arquipélagos (uma vez que é necessária comunicação e interoperabilidade de aplicações). O termo Internet das Coisas representa, em sua essência, conectividade e comunicação entre dispositivos, que interagem como sistemas distribuídos para cumprir objetivos comuns.

O estudo de caso, neste trabalho, representa uma aplicação “ilha”, trazendo à realidade o conceito tratado no trabalho. O projeto de um sistema que contemple todos os dispositivos e tecnologias utilizadas para tal é necessário para que se compreenda o que há por vir em estágios posteriores da pesquisa. A elaboração de “ilhas” é necessária para que se compreenda o funcionamento de “arquipélagos”, sua comunicação e colaboração.

5.1. Modelagem e design do proposto

A modelagem proposta por este trabalho se baseia na metodologia exposta na seção 3. Algumas das aplicações apresentadas na seção 4 são consideradas para a elaboração em questão com o objetivo de demonstrar como um sistema voltado à Internet das Coisas pode integrar diversas aplicações de forma mais escalável e interoperável. Serão utilizadas as aplicações descritas nas seções 4.1, 4.3, e 4.4.

A interoperabilidade, tão citada neste trabalho, mostra como a IoT pode mudar o paradigma da comunicação entre serviços que se integram para cumprir a um objetivo.

Este trabalho não utiliza todos os 12 projetos mostrados na Figura 10 para este design. Como será visto, 3 modelagens serão utilizadas com o objetivo de definir o sistema em questão: A modelagem de domínio, da informação e funcional. Isso porque a implementação não será abordada nesta etapa, e a modelagem definida neste momento não será utilizada para o estudo de caso da seção 5.2, e representa próximos passos do trabalho. O estudo de caso contempla uma prova de conceito mínima que demonstra a utilização da arquitetura física projetada com o auxílio da modelagem em uma aplicação.

5.1.1 Estudo dos Casos de Uso

Para esta modelagem, foi considerada a junção das aplicações descritas nas seções 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4. Foi considerado o local restrito do campus da Unicamp para demonstrar como um arranjo de dispositivos pode oferecer uma gama de aplicações que favorecem o trânsito dentro da Universidade.

O diagrama de casos de uso considerado para a elaboração da modelagem ampla do sistema é mostrado na Figura 18 abaixo.

Nele estão retratadas as interfaces possíveis entre os usuários do sistema, sejam administradores, visitantes ou atuadores humanos (representado como segurança na Figura 18).



Figura 18 – Diagrama de casos de uso do sistema completo

5.1.2 Modelagem de Domínio

Segundo o projeto IoT-A e suas recomendações com relação à modelagem de sistemas, a Modelagem de Domínio é ponto de partida para se projetar um sistema para a Internet das Coisas. A Figura 19 retrata o projeto.

Estão representados neste modelo os serviços que o sistema deve oferecer, representando uma visão de alto nível que agrega aspectos mais próximos a implementação. Para a construção do modelo o Diagrama de Casos de Uso, Figura 18, foi utilizado. Na seção 3.1 pode-se encontrar maiores detalhes sobre a modelagem em questão.

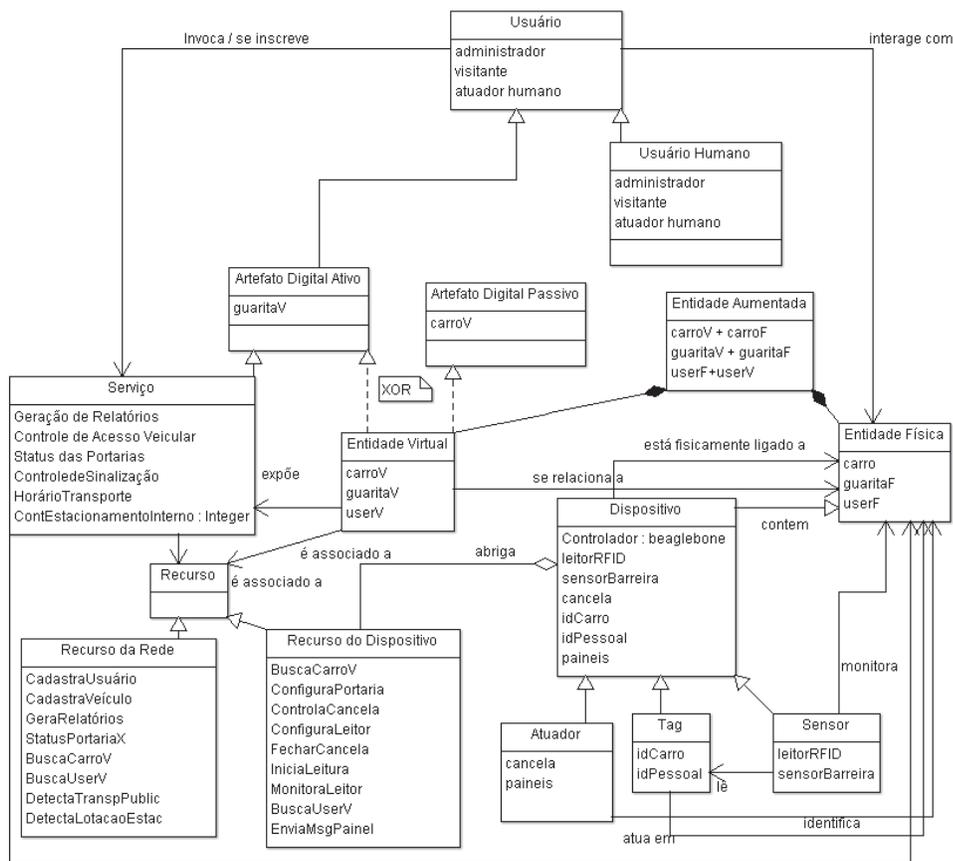


Figura 19 – Modelagem de Domínio proposta para aplicações voltadas a Sistemas de Transportes

5.1.3 Modelagem da Informação

A Modelagem da Informação auxilia no design do sistema evidenciando entidades de bancos de dados, seus atributos, valores, metadados e suas interações com os serviços e recursos oferecidos pelo sistema. Essa modelagem aproxima os conceitos tratados na modelagem de domínio à implementação propriamente dita. Dessa forma, as Entidades Físicas, agora tratadas como Entidades Virtuais, são destacadas como ponto principal de um sistema voltado à IoT. As Figura 20, Figura 21 e Figura 22 representam a modelagem de Informação para o sistema.

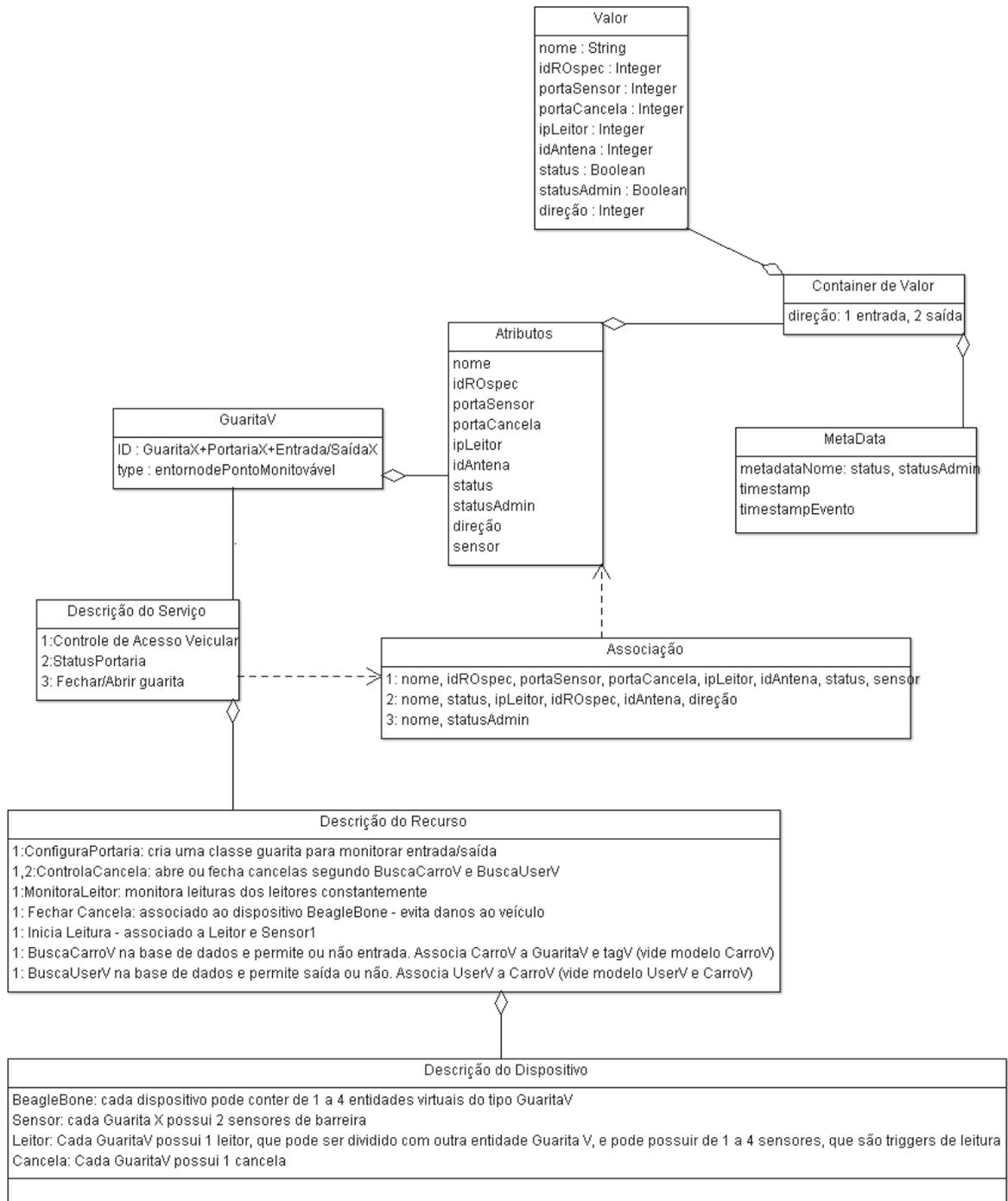


Figura 20 – Modelagem da Informação para entidade Virtual guaritaV

O Modelo de Informação para a Entidade Virtual CarroV é mostrado pela Figura 21:

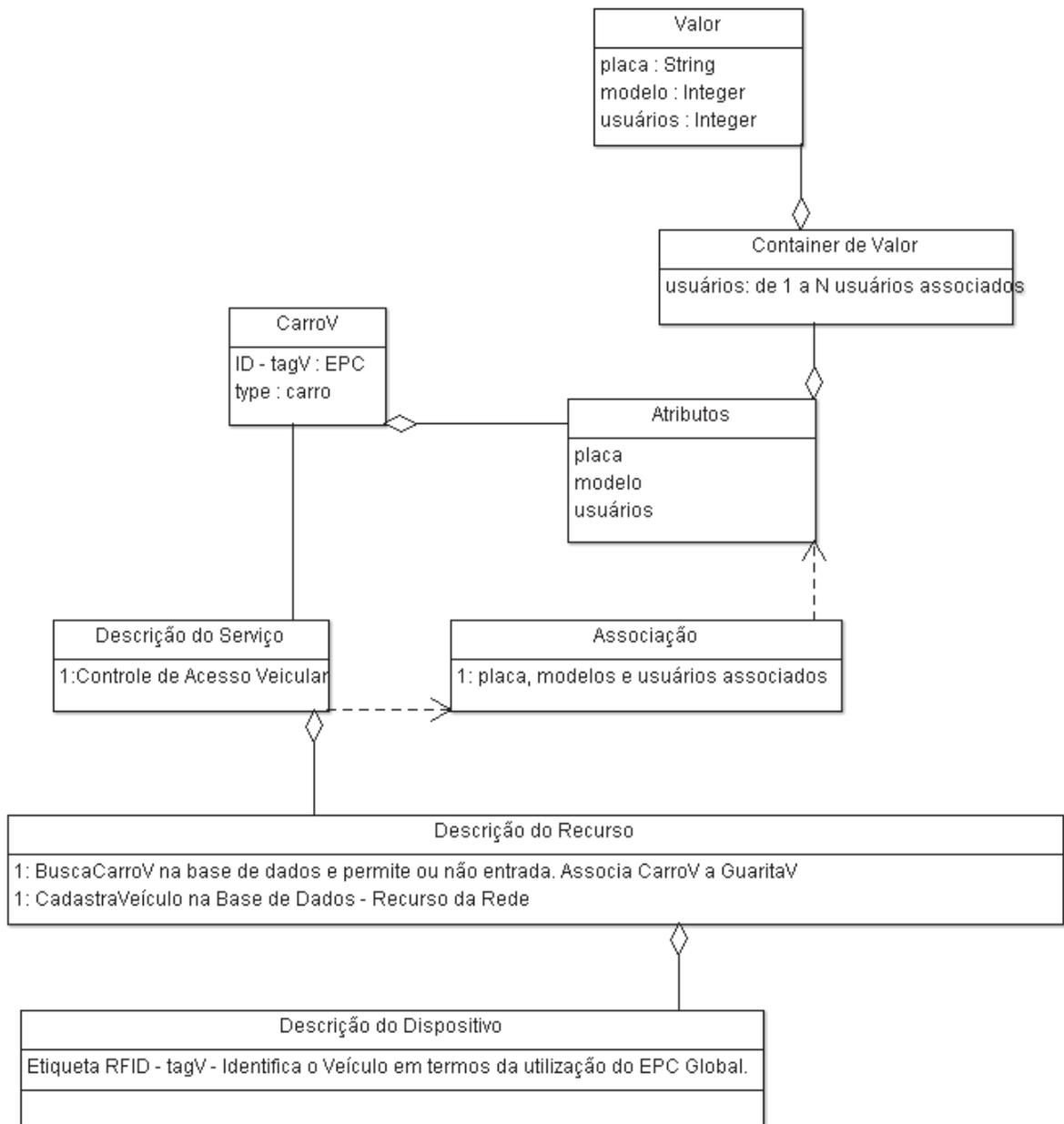


Figura 21 – Modelagem da Informação para Entidade Virtual CarroV

O Modelo de Informação para a Entidade Virtual UserV é mostrado pela Figura 22:

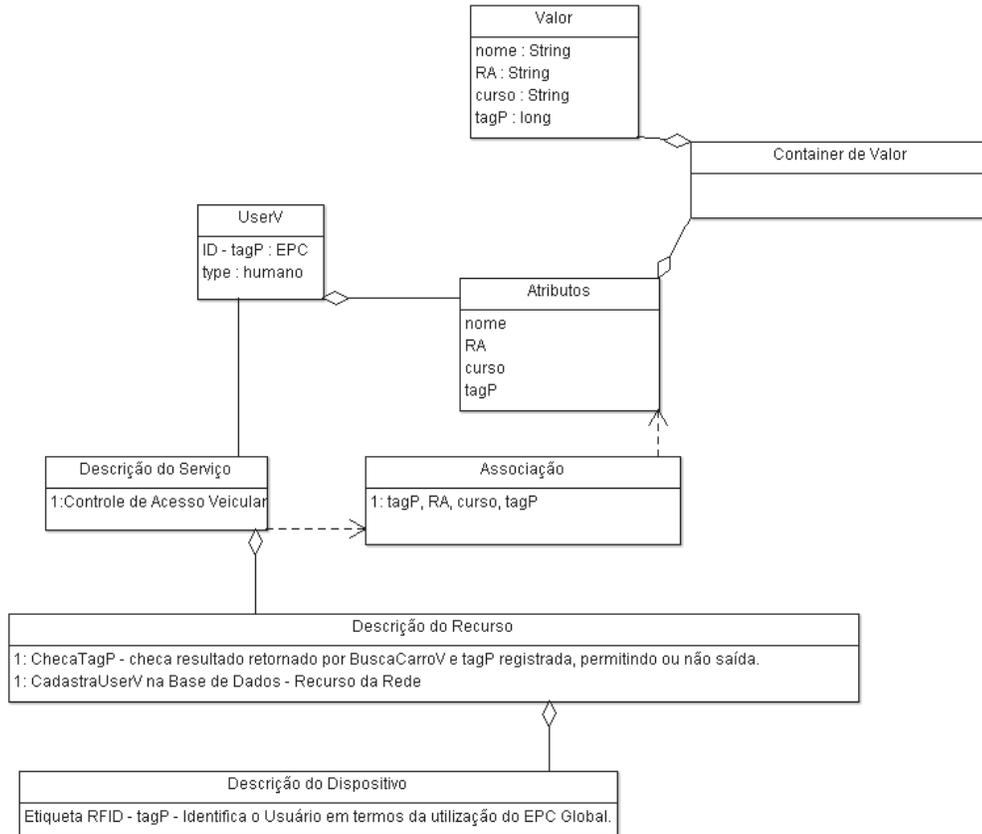


Figura 22 – Modelagem da Informação para Entidade Virtual UserV

5.1.4 Modelagem Funcional

A Modelagem Funcional é exemplificada abaixo, pela Figura 23, em termos do dispositivo e da Aplicação na rede. Ela exemplifica a utilização do diagrama no processo de concepção do projeto. Não estão demonstrados abaixo todos os Modelos Funcionais para o projeto, uma vez que este representa uma camada intermediária entre a aplicação e o dispositivo, sendo que uma modelagem completa deveria contemplar todos os dispositivos previstos pelo projeto. Os grupos funcionais de maior importância são representados, assim como suas interações com o dispositivo e a aplicação.

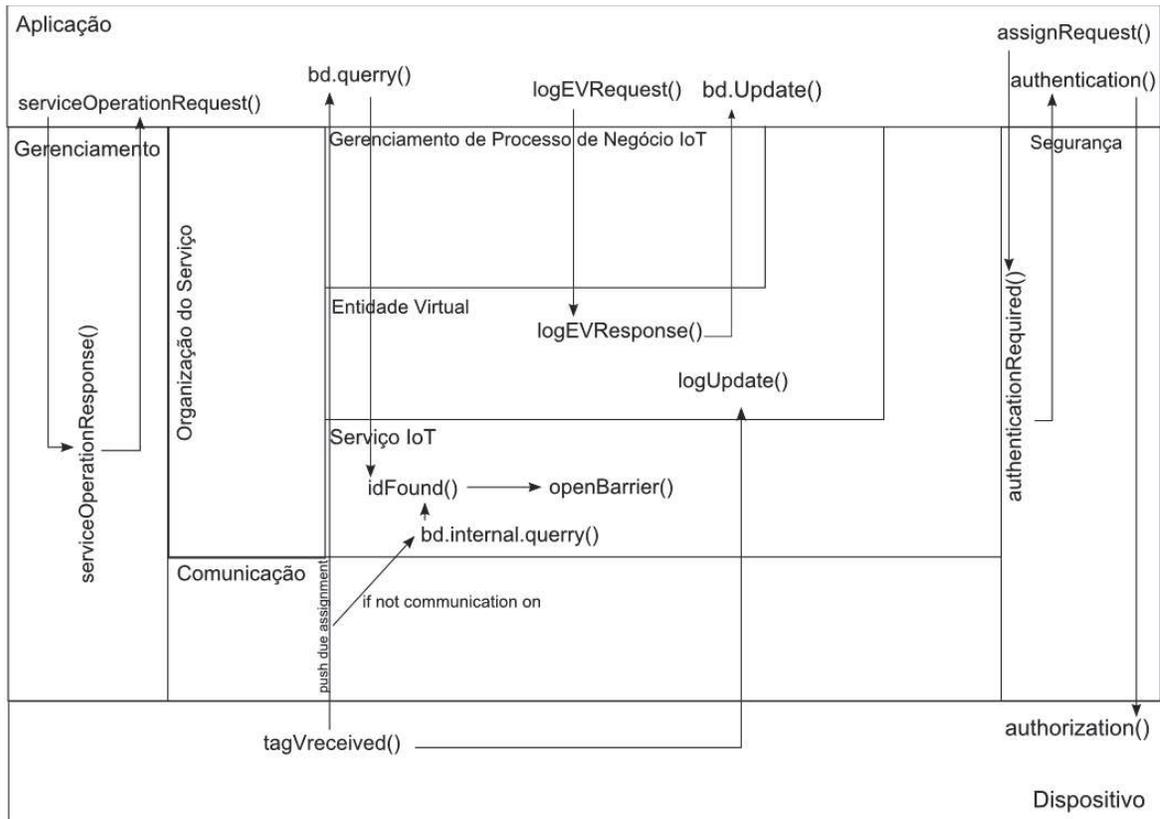


Figura 23 – Modelagem Funcional preliminar do proposto.

5.2. Estudo de Caso

Outro resultado deste trabalho é um Estudo de Caso de um sistema isolado, que utiliza a aplicação descrita na seção 4.1 com o objetivo de implementar serviços e recursos a um sistema elaborado com a mentalidade da Internet das Coisas. Estabelecendo um modelo arquitetural de referência para desenvolvimentos futuros, constrói-se uma base concreta no sentido da interoperabilidade, escalabilidade e integrabilidade deste sistema, o que possibilita projetos de pesquisa posteriores.

São detalhados os dispositivos utilizados, assim como suas formas de comunicação. Este arranjo local é capaz de prover diversas aplicações em locais restritos, e sua modelagem é

mostrada na seção anterior. Nas seções seguintes são mostrados detalhes da implementação do software utilizado para prova de conceito.

5.2.1 Descrição do Sistema

Para que o modelo pudesse ser testado, foi desenvolvido um sistema reduzido que executa algumas funções de um sistema completo, com o objetivo de testar os conceitos propostos por este trabalho. Para a elaboração do projeto, um caso de uso do ponto de vista do usuário é descrito abaixo:

“Um usuário deseja acessar o local restrito que possui cobertura do sistema de acesso em questão. Ele deve estar previamente cadastrado para que o sistema o reconheça. O cadastro é realizado através de um sistema web, o qual atrela o tag, o motorista e uma identificação pessoal. O usuário receberá uma etiqueta que deverá ser afixada no para-brisa do automóvel. O sistema então solicita ao administrador autorização para que este automóvel seja cadastrado no sistema. Então o usuário, com seu veículo, se direciona até o portão de acesso e aguarda uma resposta do sistema. Caso ele esteja autorizado a entrar então o sistema permite sua passagem, abrindo a cancela. Caso ele não esteja cadastrado ou não possua uma tag, então um sinal vermelho indicará que ocorreu algum problema com o acesso, ele deverá então, dirigir-se ao local de suporte ao sistema. Caso a entrada seja permitida, o usuário entra e estaciona seu veículo. Na saída o usuário deverá se aproximar da portaria, apresentando o tag de identificação pessoal. Essa identificação pessoal funciona como uma chave e garante a segurança do veículo e do motorista. Caso a identificação esteja correta, o portão/cancela se abre permitindo que o veículo saia do local.”

Nota-se que a interação do motorista com o sistema é praticamente nula, ele deve cadastrar o veículo uma vez, e então ele terá acesso ao local quando necessário. A vantagem de um sistema como esse é a forma como a informação é tratada, sendo que todo evento é registrado em bases de dados remotas, permitindo que recursos, através de mineração de dados, e análise semântica, possam se utilizar desta para prover outros serviços. Isso aumenta as possibilidades deste sistema,

uma vez que a informação é gerada, armazenada e tratada em por recursos na rede. A reutilização de recursos existentes na geração de serviços novos cria a necessidade de um modelo arquitetural de referência, o que foi tratado na seção 5.1

São mostrados no diagrama da Figura 18 os casos de uso pensados para o sistema. Como o sistema é voltado ao controle e monitoramento das portarias, o administrador possui um número maior de possibilidades frente aos usuários do mesmo. O usuário, neste contexto, é toda e qualquer pessoa que necessita entrar na cidade universitária da UNICAMP. O administrador controla este sistema, podendo: cadastrar novos usuários, acompanhar o que acontece nas portarias, controlar as mesmas (fechando-as ou abrindo-as), em tempo real, e emitir relatórios de utilização.

5.2.2 Demonstração de funcionamento

Como resultado prévio, este trabalho elaborou um protótipo em versão de maquete do sistema em questão, ele é mostrado na Figura 24. Neste protótipo utilizou-se a plataforma *Arduino*, (ARDUINO, 2013), para realizar o controle das cancelas. Foram, então, utilizadas duas formas distintas receber os dados dos leitores RFID. A primeira delas foi através do *middleware open-source* Fosstrak, o qual implementa a arquitetura EPC, mostrada na Figura 5. Através de uma interface gráfica e comandos de alto nível, o Fosstrak permite que o usuário implemente sua aplicação RFID seguindo os padrões e metodologias propostas pela arquitetura EPC.

Além de utilizar este middleware já implementado para realizar a comunicação com leitores RFID, este trabalho também utilizou a mesma disposição dos hardwares para colher dados de leitores, desta vez, através da *API LLRP Toolkit*. Isso permite que a solução não dependa mais de um computador conectado a rede no local onde o leitor RFID será utilizado. Este tipo de solução é comercialmente encontrada como *Edge Server*, uma vez que faz parte da borda da rede em questão. Ela é responsável por colher dados dos leitores, analisá-los previamente e comunicá-los a servidores na nuvem.

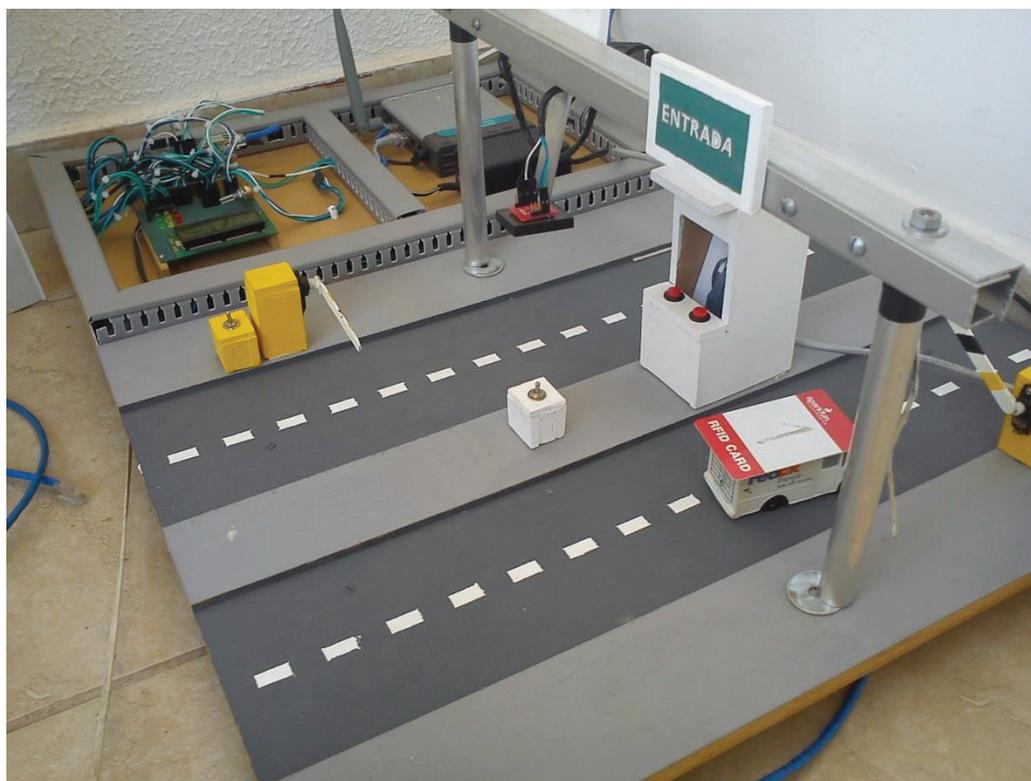


Figura 24 – Maquete que demonstra funcionamento do sistema proposto

5.2.3 Arquitetura Física e de Comunicação

Considerou-se a instalação do proposto em uma guarita de acesso ao campus. A princípio o sistema utilizará a rede interna do campus, sendo que um servidor, que disponibiliza recursos na rede, será responsável pela interface com os usuários e cadastramento no sistema. A exibição de relatórios e informações relevantes através desta interface é dependente apenas de futuras implementações adicionais. A Figura 25 ilustra a arquitetura do sistema de forma resumida.

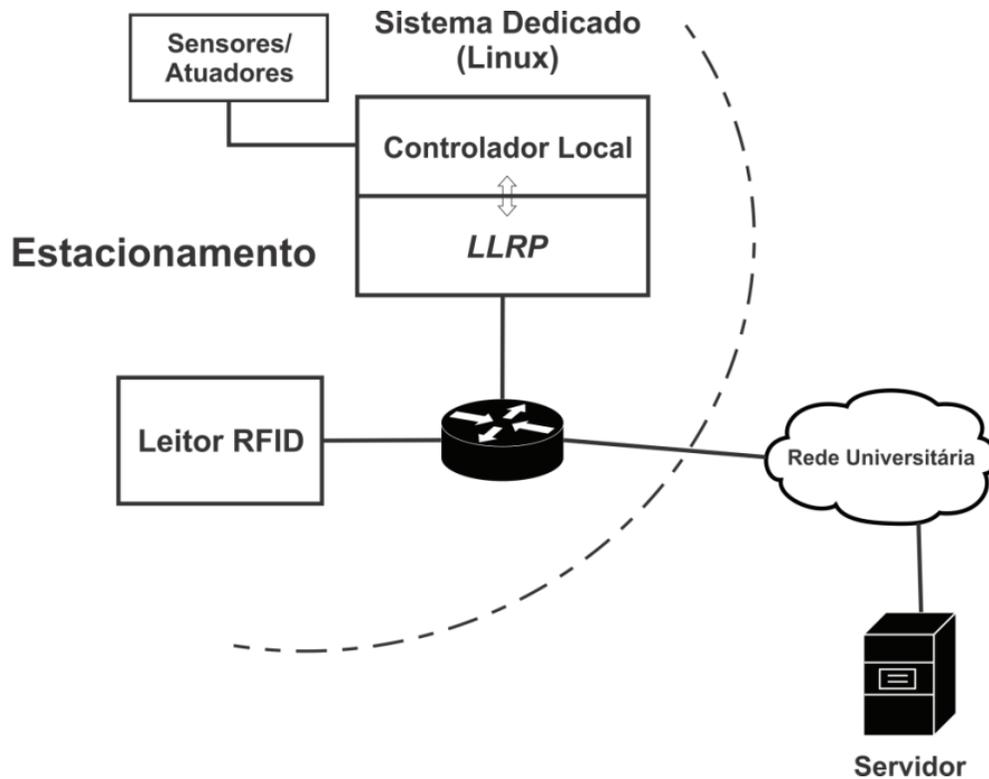


Figura 25 – Arquitetura física e de comunicação para o Estudo de Caso

Na guarita, como está sendo mostrado na Figura 25, ficarão alocados todos os elementos do sistema que não o serviço web. A função dos recursos da rede será de agregar as informações do sistema e aumentar a escalabilidade de sistemas locais clientes. Com esta mentalidade, cada sistema de controle de acesso para um estacionamento como este passa a ser uma “caixa preta”. Quando se deseja adicionar um novo estacionamento a ser gerenciado por este Web Service, basta que um novo usuário (do tipo estacionamento) seja criado, fazendo com que réplicas do sistema possam ser criadas.

Para o desenvolvimento da proposta piloto foi necessária especificação de hardware que atenda aos requisitos do projeto em questão. Serão utilizados leitores RFID, um microcontrolador de código aberto (apto a embarcar um sistema operacional também de código aberto), sensores, atuadores e um servidor remoto. As próximas seções detalham os requisitos e os equipamentos que foram utilizados no decorrer do trabalho.

5.2.3.1 Dispositivo embarcado

Um dispositivo de código aberto, baixo custo e pronto para a Internet, comercialmente conhecido como *BeagleBone* (KRIDNER, 2013) foi utilizada para a realização do projeto. Na plataforma foi instalado o sistema operacional Linux, em uma versão reduzida com foco em sistemas compactos, denominada Ångstrom. O custo aproximado da placa é R\$ 220,00.

A escolha da plataforma que seria utilizada teve como critério principal o alinhamento com a mentalidade da Internet das Coisas (UCKELMANN, HARRISON e MICHAHELLES, 2011). Esta plataforma deveria ser de código aberto, em hardware e software, para que custos de desenvolvimento fossem reduzidos. Além disso, ela deveria ser pronta para se comunicar com a Internet. Estes fatores motivaram a escolha desta plataforma como base para os desenvolvimentos deste trabalho.

A Figura 26 mostra a plataforma de desenvolvimento que será utilizada. Algumas especificações dela seguem abaixo.

Processador:

- 720 MHz ARM Cortex-A8 (armv7a)
- Acelerador gráfico 3D
- ARM Cortex-M3 para gerenciamento da energia
- 2x Unidades programáveis de tempo real 32-bit RISC CPUs

Conectividade:

- USB cliente: energia, correção de erros e dispositivo.
- USB host: dispositivos externos pela USB.
- Ethernet
- 2x46 pinos conectáveis;
- 2xI2C, 5xUART, I2S, SPI, CAN, 66x3.3V GPIO, 7xADC

Software:

- 4GB microSD card com distribuição Linux Angstrom
- *Cloud9* IDE sobre *Node.JS* com biblioteca *Bonescript*
- Alimentação: 5V, pico de consumo durante boot: 502mA



Figura 26 - Sistema embarcado utilizado para o Estudo de Caso

5.2.3.2 Linux embarcado e Java

O cuidado que deve ser tomado quando se utiliza um sistema operacional embarcado para implementar aplicações mais complexas é referente ao uso de memória volátil e do processador (Databases for Linux Embedded Systems: Berkeley DB and SQLite, 2011) porque a memória RAM é restrita e o processador tem capacidade computacional reduzida, o que faz com que qualquer atraso no sistema seja visto pelo usuário como falha.

A linguagem de programação escolhida para este caso foi o Java. Dentre os motivos para tal escolha estão a flexibilidade com relação ao sistema operacional que fará uso da implementação e a facilidade com relação ao gerenciamento de memória, que é feito automaticamente. Além disso, esta é uma linguagem de mais alto nível, orientada a objetos, o que facilita implementações mais complexas.

Para uma aplicação Java funcionar corretamente, desde o desenvolvimento ao funcionamento normal do sistema, são essenciais três componentes básicos, o JDK (Kit de Desenvolvimento Java), o JVM (Máquina Virtual do Java) e o JRE (Ambiente de execução do Java).

5.2.3.3 Banco de Dados

Na configuração proposta, o sistema embarcado, precisará usar um banco de dados para armazenar informações e sincronizá-las com bancos de dados na rede (no caso, utilizando um recurso na rede). Muitos sistemas Linux usam MySQL, porém um sistema de gerenciamento de banco de dados grande como este pode não ser sempre adequado para sistemas embarcados.

Por este motivo, implementações mais leves para gerenciamento de banco de dados adequadas para sistemas embarcados por apresentar tamanho de binário reduzido, consumo de memória eficiente e pré-requisitos de CPU (Databases for Linux Embedded Systems: Berkeley DB and SQLite, 2011) são mais apropriadas.

O SQLite cumpre a estas expectativas. Trata-se de uma biblioteca para softwares que implementa um banco de dados autônomo, sem servidor, configuração zero e transacional. SQLite é o framework do banco de dados SQL mais implantado no mundo. O código fonte do SQLite é de domínio público.

Este Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados será utilizado com o objetivo de implementar o banco de dados interno do controlador, que periodicamente será sincronizado com o banco de dados do servidor web. Durante a realização de testes, os bancos foram sincronizados uma vez por dia, o que é suficiente para a demanda específica. O cadastro no sistema demoraria um dia para ser validado. O horário de sincronização recomendado coincide com as menores taxas de acesso veicular ao campus, ou seja, durante a madrugada.

O sistema de banco de dados é mostrado na Figura 27 abaixo:

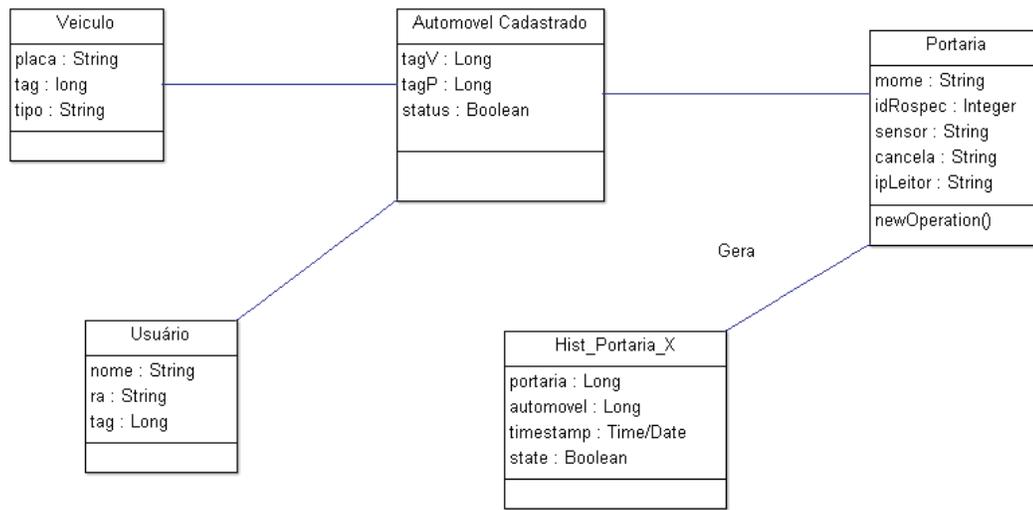


Figura 27 – Projeto do Banco de Dados. Entidades e suas relações.

5.2.3.4 Equipamentos RFID

Foi utilizado um leitor RFID UHF Motorola Symbol FX7400, com antenas AN480 para testar o conceito proposto neste trabalho. Este leitor deverá se comunicar com o controlador utilizando protocolos Internet. O modo de funcionamento e a troca de mensagens é possibilitada pelo protocolo LLRP, *Low Level Reader Protocol* – Protocolo de Baixo Nível para Leitores. A troca de mensagens LLRP é possibilitada, quando pensamos na pilha Internet, pelo protocolo SOAP e HTTP, através do formato de mensagens em formato XML.

O protocolo LLRP é um padrão definido pela arquitetura EPC. Trata-se da forma mais direta de controlar um leitor, através de uma API que possibilita implementações simples para configurar a operação de um leitor, pode-se colher informações de leituras sem que haja necessidade de instalar um middleware completo. Isso afetaria um requisito crítico para o projeto, que é a velocidade de busca em bancos de dados maiores, uma vez que a memória volátil do sistema (RAM) ficaria ocupada com maior constância.

A arquitetura de protocolos proposta pela EPC Global (EPC GLOBAL, 2010) (mostrada na Figura 5) identifica as etapas da comunicação RFID. A informação passa por estas etapas desde o

momento que o leitor realiza a leitura de uma tag até que ela seja compartilhada pelas ferramentas de negócio. O protocolo LLRP está na base desta cadeia, ele representa uma tentativa de padronizar a forma com que leitores se comunicam e configuram suas operações. Antes, ferramentas proprietárias eram utilizadas para realizar estas tarefas, o que dificultava em muito a compatibilidade entre leitores de fabricantes diferentes (EPC GLOBAL, 2010).

O conjunto formado por leitor e antenas utilizado neste projeto não é ideal para aplicações AVI que possuem no tempo um fator crítico para o funcionamento correto do sistema. O ângulo de leitura e o grau de proteção dos equipamentos são os principais fatores que contribuem para isso. Por outro lado, estas características não impactam diretamente no conceito que será testado neste trabalho, pois a contribuição deste está intimamente ligada a mentalidade da Internet das Coisas proposta, e sua viabilidade na ponta da comunicação, e pouco ligada a desempenho do equipamento RFID envolvido. O conjunto leitor-antena é mostrado na Figura 28.



Figura 28 – Equipamento RFID utilizado.

5.2.3.5 Protocolo LLRP e Ferramentas de Desenvolvimento

Pode-se discutir o uso do protocolo LLRP neste trabalho, juntamente com alguns recursos de filtragem simples, a partir dos seguintes pontos:

- A comunicação com os leitores é realizada através da ferramenta de programação LLRP Toolkit (LLRP Toolkit, 2008) e este trabalho utiliza o dispositivo proposto, como uma

ponte para capturar informações, filtrá-las rapidamente, e enviar para bancos de dados remotos;

- Implementações comerciais ou plataformas de middleware de código aberto são feitos para plataformas de processamento de capacidade computacional elevada. Este estudo considera que, para um ITS, um grande número de aplicações será executado remotamente, em plataformas integradas a rede, onde a memória RAM é um fator restritivo;
- Um middleware completo, baseado na plataforma OSGi, desenvolvido com foco em sistemas compactos, com foco na plataforma *Raspberry Pi*, conhecido como *RiFiDi* foi lançado recentemente. De acordo com a documentação que suporta apenas um fabricante de leitor, o que mostra que esta solução não é totalmente consolidada (TRANSCENDS, 2013).

O leitor RFID irá se comunicar com o dispositivo embarcado através de um middleware reduzido implementado utilizando o LLRP Toolkit. O LLRP é um protocolo definido pela *EPCGlobal* para acesso de baixo nível a leitores RFID.

Com o objetivo de implementar esta comunicação foi utilizada a ferramenta de desenvolvimento *LLRP Commander*. Este é um plugin para o ambiente de desenvolvimento Eclipse que facilita a elaboração do XML ADD_ROSPEC, o qual, de fato, configura a operação de leitura dos leitores RFID. A Figura 29 – Ilustração do software *LLRP Commander*. mostra o ambiente gráfico de edição disponibilizado pelo software, e a Figura 30 – XML trocado entre dispositivos para configuração do leitor. mostra o XML que configura a operação do leitor utilizado neste trabalho.

Com o leitor configurado, a troca de mensagens entre os dispositivos é iniciada. A partir disso o sistema utiliza seus recursos para cumprir objetivos de controlar o acesso veicular ao local restrito em questão.

Este trabalho não implementa totalmente os procedimentos de filtragem, conforme descrito pelo Protocolo ALE, entendendo que a necessidade de filtragem e agregação nestes casos é um fator secundário para um *estudo de caso*. Este protocolo é de grande importância e interesse na implementação RFID e deve ser entendido a fundo quando da execução de projetos voltados a RFID.

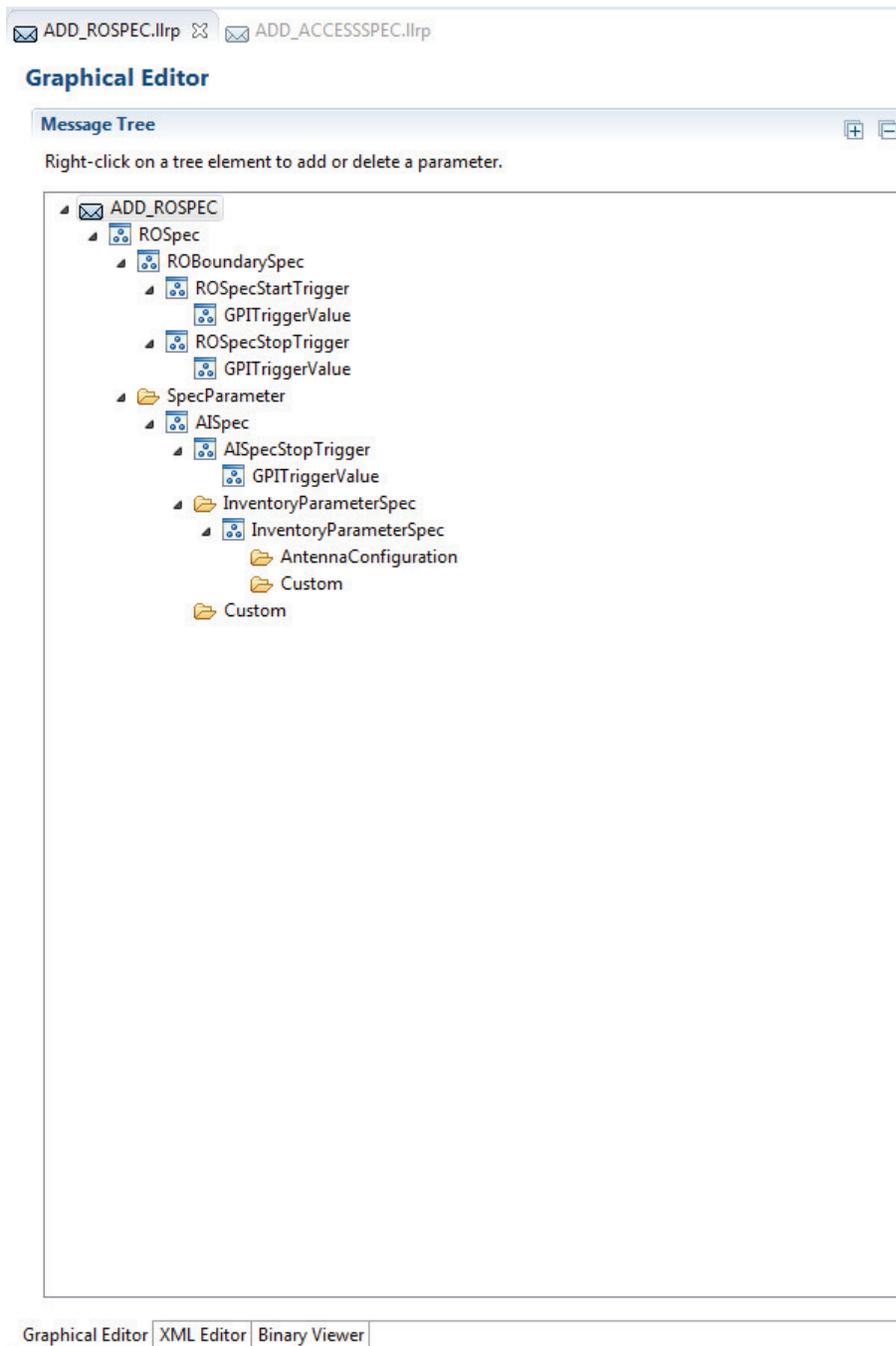


Figura 29 – Ilustração do software *LLRP Commander*.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <llrp:ADD_ROSPEC MessageID="4" Version="1" xmlns:llrp="http://www.llrp.org/lltk/schema/core/encoding/xml/1.0">
  - <llrp:ROSpec>
    <llrp:ROSpecID>1</llrp:ROSpecID>
    <llrp:Priority>0</llrp:Priority>
    <llrp:CurrentState>Disabled</llrp:CurrentState>
    - <llrp:ROBoundarySpec>
      - <llrp:ROSpecStartTrigger>
        <llrp:ROSpecStartTriggerType>GPI</llrp:ROSpecStartTriggerType>
        - <llrp:GPITriggerValue>
          <llrp:GPIPortNum>1</llrp:GPIPortNum>
          <llrp:GPIEvent>1</llrp:GPIEvent>
          <llrp:Timeout>0</llrp:Timeout>
        </llrp:GPITriggerValue>
        </llrp:ROSpecStartTrigger>
      - <llrp:ROSpecStopTrigger>
        <llrp:ROSpecStopTriggerType>GPI_With_Timeout</llrp:ROSpecStopTriggerType>
        <llrp:DurationTriggerValue>0</llrp:DurationTriggerValue>
        - <llrp:GPITriggerValue>
          <llrp:GPIPortNum>1</llrp:GPIPortNum>
          <llrp:GPIEvent>1</llrp:GPIEvent>
          <llrp:Timeout>1000</llrp:Timeout>
        </llrp:GPITriggerValue>
        </llrp:ROSpecStopTrigger>
      </llrp:ROBoundarySpec>
    - <llrp:AISpec>
      <llrp:AntennaIDs>0</llrp:AntennaIDs>
      - <llrp:AISpecStopTrigger>
        <llrp:AISpecStopTriggerType>Null</llrp:AISpecStopTriggerType>
        <llrp:DurationTrigger>0</llrp:DurationTrigger>
        </llrp:AISpecStopTrigger>
      - <llrp:InventoryParameterSpec>
        <llrp:InventoryParameterSpecID>9</llrp:InventoryParameterSpecID>
        <llrp:ProtocolID>EPCGlobalClass1Gen2</llrp:ProtocolID>
        - <llrp:AntennaConfiguration>
          <llrp:AntennaID>1</llrp:AntennaID>
        </llrp:AntennaConfiguration>
        </llrp:InventoryParameterSpec>
      </llrp:AISpec>
    </llrp:ROSpec>
  </llrp:ADD_ROSPEC>

```

Figura 30 – XML trocado entre dispositivos para configuração do leitor.

5.2.3.6 Sensores e atuadores

Serão utilizados também elementos sensores e atuadores que realizam a interface entre os usuários e o sistema. Eles serão acoplados ao controlador do sistema, sendo que este será responsável pelo acionamento dos atuadores e monitoramento dos sensores.

Quando um veículo se posiciona para acessar o local de cobertura do sistema, o sensor de presença detectará sua presença, então um ciclo de leitura é iniciado pelo leitor RFID. As tags dentro do campo de visão das antenas serão lidas e enviadas ao controlador. A partir destas informações o controlador tomará decisões e acionará os atuadores, que são as cancelas e a

sinalização luminosa. Os sensores de presença serão responsáveis também por impedir que as cancelas automáticas sejam fechadas e danifiquem veículos.

5.2.4 Serviço Web

A comunicação através dos protocolos Internet é premissa desse projeto. Uma aplicação em um servidor remoto, chamada de aplicativo web, que disponibiliza recursos na rede, deve ser responsável por fornecer alguns serviços de importância ao sistema:

- Manutenção das bases de dados de usuários cadastrados e de eventos do sistema;
- Interface para cadastramento de usuários;
- Implementação do protocolo HTTP que permita realizar sincronizações de banco de dados, seja de usuários ou de eventos recentes;

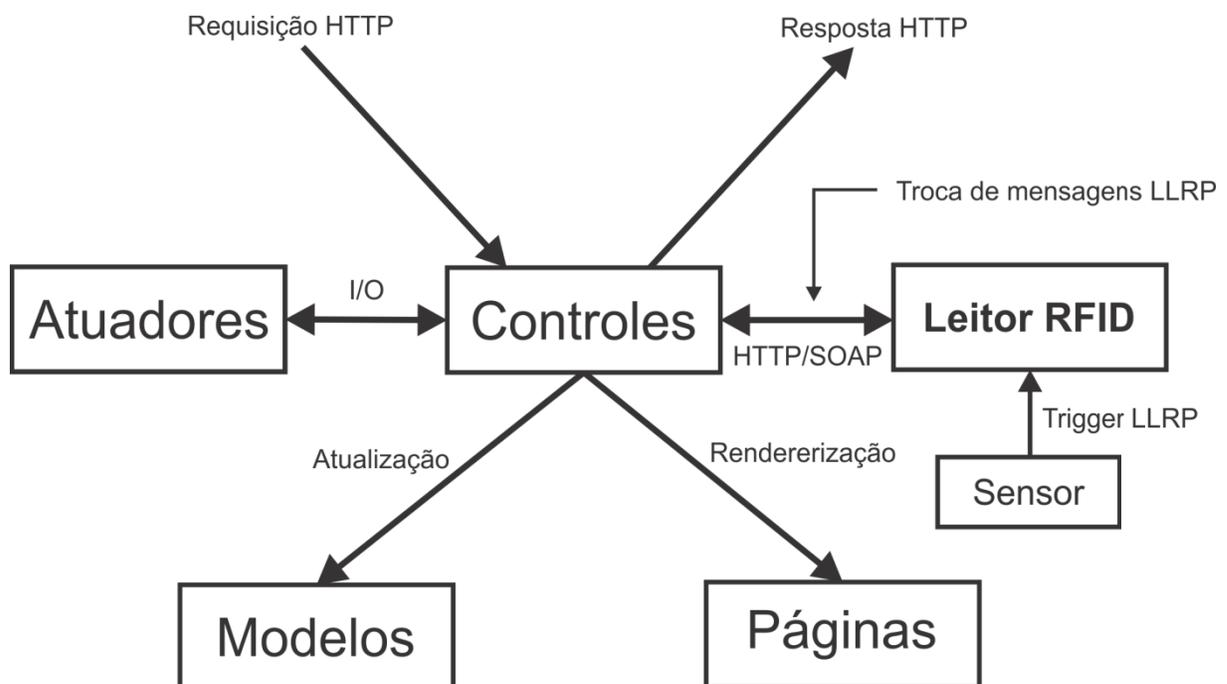


Figura 31 - Estrutura de comunicação e lógica do sistema web embarcado (CARDOSO, MASTELARI e BASSORA, 2013)

A Figura 31 mostra a comunicação de um sistema web baseado no modelo MVC (Modelo-Vistas-Controlle), que utiliza o framework Play! para realizar desenvolvimento. Ela mostra como os dispositivos se comunicam com os serviços remotos, assim como com os outros periféricos envolvidos no sistema. Este modelo nos auxilia a visualizar o sistema embarcado integralmente, e aproxima a arquitetura desenhada até o momento às implementações derivadas.

5.2.5 Software desenvolvido

O software desenvolvido no decorrer do trabalho é representado abaixo, para facilitar a compreensão, em termos das telas de cadastro de usuário, representada pela Figura 32, e do veículo, mostrado na **Error! Reference source not found.**. Além disso, é mostrada a estrutura de arquivos do software em questão na Figura 33. A principal classe, denominada RFID, implementada pelo trabalho pode ser encontrada no Anexo 1.

Por favor Cadastre o usuario

Nome:

RA:

Tag:

Cadastrar

Por favor Cadastre o usuario

Placa:

Tipo: 0

Tag:

Cadastrar

Figura 32 – Cadastro do Usuário e do veículo no sistema.

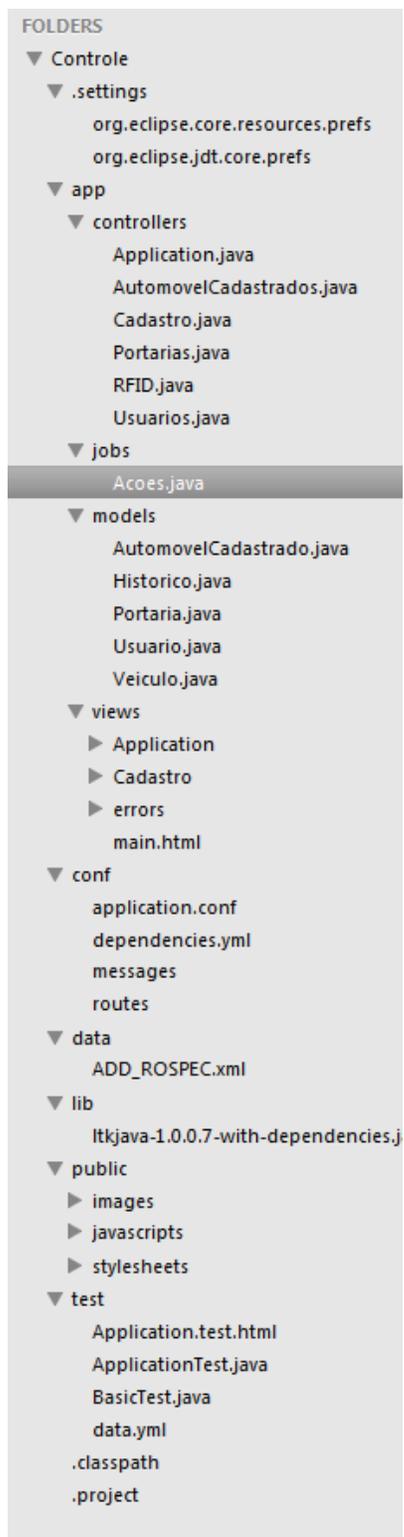


Figura 33 – Estrutura geral do software elaborado

6 Conclusão

Os objetivos traçados para o trabalho foram cumpridos. A pesquisa nesta área, porém, apresentou complexidades não previstas em seu início. Estas complexidades levaram a uma redefinição do escopo do trabalho em seu decorrer, adequando o esforço à equipe envolvida. Iniciativas reais de pesquisa em Internet das Coisas são escassas e embrionárias no Brasil. Em 2012 foi criado no Brasil o “Fórum de IoT” com o intuito de apoiar e fomentar o desenvolvimento do tema. A USP tem liderado o desenvolvimento da área no país, mas essa iniciativa não representa um esforço conjunto para desenvolvimento das tecnologias envolvidas. O Fórum tem realizado ações neste sentido, e conseguiu avanços no decorrer de 2013. A pesquisa nesta área depende de equipes multidisciplinares, com ampla capacidade de execução em áreas específicas em projeto de softwares (Comunicação, Bancos de dados, Segurança, Gerenciamento etc), o que exige investimento em torno de conhecimento adquirido.

A adoção da arquitetura física e lógica proposta neste trabalho ainda requer estudo no que tange a desempenho dos hardwares escolhidos, principalmente com relação a segurança, velocidade de resposta e capacidade de armazenamento. Como foi dito, aplicações no âmbito da Internet das Coisas não podem ser estudadas como “ilhas”, mas sim como “arquipélagos” de “ilhas” que se comunicam e buscam objetivos comuns. Não foi objetivo deste trabalho, com relação à implementação, desenvolver “arquipélagos” e testá-los (o que na prática compõe trabalhos futuros derivados deste), mas apenas uma ilha (prova de conceito), e por isso a desempenho do sistema como um todo não foi testado.

Este trabalho cumpriu aos objetivos de utilizar uma arquitetura de referência no design e modelagem de aplicações que se utilizam de um mesmo arranjo de dispositivos para oferecer vários serviços ao usuários em um sistema de transporte determinado. Além disso, uma implementação foi elaborada com o intuito de comprovar o conceito proposto. Unir o projeto proposto neste trabalho (com relação aos hardwares e suas comunicações) ao modelo abre inúmeras possibilidades de serviços aos usuários dos sistemas de transportes urbanos. A implementação completa deste sistema é uma questão de continuidade.

Finalmente, afirma-se que a Internet das Coisas e as aplicações que surgem derivadas das tecnologias envolvidas, podem impactar positivamente em várias áreas, possuindo um grande

potencial de impacto na sociedade e na geração de valor aos negócios. Determinar modelos de negócios que suportem esta adoção representa um grande desafio, principalmente pelo fato de que o valor agregado desta impacta vários envolvidos simultaneamente, aumentando a complexidade de modelos.

6.1. Trabalhos futuros

Como já foi dito no decorrer do trabalho, um trabalho futuro derivado deste seria implementar de fato “arquipélagos” que se conectam com serviços na nuvem com o objetivo de contemplar todos os aspectos previstos pela modelagem, com o objetivo de montar aplicações interoperáveis e escaláveis para Sistemas de Transportes. O RFID é uma boa tecnologia para determinadas aplicações, mas nem todas. Este trabalho não focou neste aspecto, mas cita em seu decorrer fatores que devem ser considerados quando desta adoção.

Não se pode, portanto, desconsiderar outras tecnologias que despontam para outros tipos de aplicações, como o Wi-Fi e o Bluetooth, poucos citados neste trabalho. De toda forma, a concepção de projetos voltados a Internet das Coisas deve passar por modelos de referência, e a partir disso, a interoperabilidade de aplicações enfrentará menores impecilhos, quando de suas implementações, independente das tecnologias utilizadas.

Veículos com computadores de bordo que se comunicam com a infraestrutura para oferecer ao usuário dados como velocidade máxima da pista e informações sobre o tráfego já são realidade na Alemanha, por exemplo. Construir veículos que se auto-conduzem é um dos sonhos do ser humano, e um dos próximos desafios da ciência que será resolvido. Continuações deste trabalho buscarão esta direção.

Referências Bibliográficas

AL-NAIMA, F. M.; HAMD, H. A. Vehicle Traffic Congestion Estimation Based on RFID. **International Journal of Engineering Business Management**, 2012.

AMAZONAS, J. R. D. A. Introdução à Internet das Coisas. In: HESSEL, F., et al. **Implementando RFID na Cadeia de Negócios**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011. Cap. 8, p. 201 - 227.

ARDUINO. What is Arduino? **Arduino**, 2013. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 18 Outubro 2013.

BARRERO, F. . T. S. . Internet in development of future road-traffic control systems. **Internet research**, 20, 2010. 154-168.

BARRERO, F. et al. Internet in the development of future road-traffic systems. **Internet Research**, p. 154-168, 2010.

CAR-2-CAR COMMUNICATION CONSORTIUM. Mission and Objectives. **Car-2-Car Communication Consortium**, 2009. Disponível em: <<http://www.car-to-car.org/>>. Acesso em: 14 Setembro 2013.

CARDOSO, R.; MASTELARI, N.; BASSORA, M. **INTERNET OF THINGS ARCHITECTURE IN THE CONTEXT OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS – A CASE STUDY TOWARDS A WEB-BASED APPLICATION DEPLOYMENT**. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Ribeirão Preto: [s.n.]. 2013.

CHEN, K.; MILES, J. C. **ITS Handbook 2000 – Recommendations from the World Road Association**. [S.l.]: PIARC, 2000.

CONSTANTINOU, F. **An Object Oriented Implementation of a Low Level Reader Protocol (LLRP) Library**. MIT. [S.l.]. 2007.

CORSARO, A.; SCHMIDT, C. **Evaluating Real-Time Java Features and Performance for Real-time Embedded Systems**. Irvine: University of California.

DATABASES for Linux Embedded Systems: Berkeley DB and SQLite. **CNXSoft - Embedded Software Development**, 28 Fevereiro 2011. Disponível em: <<http://www.cnx->

software.com/2011/02/28/databases-for-linux-embedded-systems/>. Acesso em: 20 Fevereiro 2013.

DENATRAN. Portaria Denatran 570/11. **DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito**, 07 Abril 2011. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/siniav.htm>>. Acesso em: 06 Agosto 2011.

EPC GLOBAL. **The EPC Global Architecture Framework**. EPC Global. [S.l.], p. 75. 2010.

EPC Information Services (EPCIS) Versão 1.0.1. EPCGlobal. [S.l.]. 2007.

ETSI. **Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture**. European Telecommunications Standards Institute. Nice, p. 44. 2010.

FAGUI, L. et al. **Lightweight-ALE-Based Embedded RFID Middleware**. Guangzhou. 2009

FLEISH, E. What is the Internet of Things? An Economic Perspective. **Auto-ID Labs White Paper**, 2010.

FLOERKEMEIER, C. **Integrating RFID Readers in the Enterprise IT - Overview of Intra-organizational RFID System Services and Architectures**. Cambridge. 2008.

FÓRUM DE COMPETITIVIDADE DE IOT. A importância da Internet das Coisas para o Brasil. **Fórum de Competitividade de IoT**, Julho 2011. Disponível em: <<http://www.iotbrasil.com.br/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=1>>. Acesso em: 14 Dezembro 2012.

FOSSTRAK. Fosstrak. **Fosstrak - Open Source RFID Platform**, 2012. Disponível em: <<https://code.google.com/p/fosstrak/>>. Acesso em: 30 Agosto 2012.

GANESAN, K.; VIGNESH, K. **Automated Parking Slot Allocation using RFID Technology**. Vallore, India. 2007.

GETTING Started with Building Smart Objects. **IPSO Alliance**, 2013. Disponível em: <<http://www.ipso-alliance.org/technical-information/building-so>>. Acesso em: 2013 Fevereiro 25.

GI OUG, O. et al. **A Quality Evaluation Technique of RFID Middleware in Ubiquitous Computing**. International Conference on Hybrid Information Technology. Seoul: IEEE Computer Society. 2006.

GLOVER, B.; BHATT, H. **RFID Essentials**. 1^a. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2006.

GUIA das Cidades Digitais. **Guia das Cidades Digitais**, 27 Julho 2011. Disponível em: <<http://www.networkeventos.com.br/GCD3.pdf>>. Acesso em: 20 Fevereiro 2012.

GUTERMAN, J. **Big Data**. [S.l.]. 2009.

ILIC, A.; ANDERSEN, T.; MICHAHELLES, F. **EPCIS-based Suply Chain Visualization Tool**. Zurich. 2009.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. The Internet of Things. **International Telecommunication Union**, 2005. Disponível em: <<http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/>>. Acesso em: 26 Maio 2012.

ISHIDA T., I. K. . **Digital Cities: Technologies, Experiences, and Future Perspectives**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2000.

KANSAS City Regional ITS Architecture. **Mid-America Regional Council**, 5 Maio 2012. Disponível em: <<http://www.marc.org/transportation/ITS/index.htm>>. Acesso em: 15 Abril 2013.

KRIDNER, J. What is Beagle? **BeagleBone**, 01 Janeiro 2013. Disponível em: <<http://beagleboard.org/brief>>. Acesso em: 10 Outubro 2011.

LAISHENG, X. et al. **Research on Traffic Monitoring Network and its Traffic Flox Forecast and Congestion Control Model Based on Wireless Sensor Networks**. Internation Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Zhanjiang: IEEE Computer Society. 2009. p. 142-147.

LIU, F.; JIE, Y.; HU, W. **Distributed ALE in RFID Middleware**. Guangzhou. 2008. Low Level Reader Protocol (LLRP) Version 1.1. EPCGlobal. [S.l.]. 2010.

MAGERKURTH, C. **Deliverable D1.4 - Converged architectural reference model for the IoT v2.0**. Internet of Things - Architecture. [S.l.], p. 298. 2013.

MELO, C. E. R. D.; BEIHY, F. O. S.; SACRAMENTO, V. **Análise de Vulnerabilidade do Middleware Fosstrak**. Goiânia. 2009.

MENDES, L. S. . B. M. L. . B. G. D. . Digital Cities and Open MANs: A New Communications Paradigm. **IEEE Latin-American Conference on Communications**, 2009.

O Brasil-ID. **Brasil-ID**, 31 Agosto 2009. Disponível em: <<http://www.brasil-id.org.br/sobre.asp>>. Acesso em: 18 Agosto 2012.

PLAY FRAMEWORK. The MVC application model. **Play Framework**, 2011. Disponível em: <<http://www.playframework.com/documentation/1.0/main>>. Acesso em: 09 maio 2013.

SELVARAJAH, K.; TULLY, A.; BLYTHE, P. T. **Zigbee for Intelligent Transport System Application**. Newcastle. 2008.

STAHLMANN, R. et al. **STARTING EUROPEAN FIELD TESTS FOR CAR-2-X COMMUNICATION: THE DRIVE C2X FRAMEWORK**. Orlando: 18th ITS World Congress and Exhibition. 2011.

SWEDBERG, C. IBM Vê RFID como Solução de Estacionamento para um Planeta Mais Inteligente. **RFID Journal Brasil**, 21 Outubro 2011. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/noticias/vision/8893/1>>. Acesso em: 2012 Janeiro 2012.

The Application Level Event (ALE) Specification, Version 1.1.1. EPCGlobal. [S.l.]. 2009.

THE COOPERATIVE VEHICLE-INFRASTRUCTURE SYSTEMS. **The Future of Intelligent Transport Systems**. Trondheim, p. 11. 2010.

THE INTERNET OF THINGS - ARCHITECTURE. Converged Architectural Reference Model for the IoT v2.0. **Internet of Things - Architecture**, p. 291, 14 November 2012. Disponível em: <<http://www.ietf.org/public/rfc/rfc5914.html>>. Acesso em: 23 May 2013.

THE MVC application model. **Play Framework**. Disponível em: <<http://www.playframework.com/documentation/1.0/main>>. Acesso em: 09 maio 2013.

TRANSCENDS. RIFIDI PI Embedded Appliance. **Transcends**, 2013. Disponível em: <<http://www.transcends.co/solutions/rifidi-pi>>. Acesso em: 05 ago. 2013.

UCKELMANN, D.; HARRISON, M.; MICHAHELLES, F. **Architecting the Internet of Things**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.

VANITCHAKORNPONG, K. et al. Performance Evaluation of a RFID-Enabled Real Time Bus Dispatching System: Case study of the Bangkok bus system. **ECTI TRANSACTIONS ON COMPUTER AND INFORMATION TECHNOLOGY**, November 2012. 144-155.

VAZ, T. R. **CEPFID: Plataforma de Middleware para Processamento de Eventos Complexos RFID**. Goiânia: Tese de mestrado, Universidade Federal de Goiás, 2011.

VEJA.COM. O impacto do caos nas ruas. **Veja.com**, 2008. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/transito/contexto1.html>>. Acesso em: 28 Abril 2013.

WAMBA, S. F. et al. **RFID Adoption Issues - Analysis of Organizational Benefits and Risks**. Wollongong. 2009.

WAZE MOBILE. Waze. **Waze**, 2012. Disponível em: <www.waze.com>. Acesso em: 18 Agosto 2013.

WERNER VON BRAUN. **Resumo Executivo dos Requisitos Técnicos**. Brasília. 2009.

XIAO, L.; WANG, Z. Internet of Things: a New Application for Intelligent Traffic Monitoring System. **Journal of Networks**, p. 887-894, 2011.

ZHOU, H.; LIU, B.; WANG, D. **Design and Research of Urban Intelligent Transportation System Based on the Internet of Things**. IOT Workshop. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 2012. p. 572-580.

ANEXO 1

Principal classe implementada pelo trabalho:

```
public class RFID extends Application implements LLRPEndpoint {

private LLRPCConnection connection;
private static Logger logger;

public RFID() {

// set logging level
logger = Logger.getLogger("");
configure();
}

private void configure() {

// set IP address of RFID reader
String READER_IP_ADDRESS = "192.168.0.101";

// create client-initiated LLRP connection

connection = new LLRPCConnector(this, READER_IP_ADDRESS);

// connect to reader
// LLRPCConnector.connect waits for successful
// READER_EVENT_NOTIFICATION from reader

try {
logger.info("Initiate LLRP connection to reader");
System.out.println(READER_IP_ADDRESS);
((LLRPCConnector) connection).connect();
} catch (LLRPCConnectionAttemptFailedException e1) {
e1.printStackTrace();
System.exit(1);
}

LLRPMessage response;

try {
```

```

// delete ROSpec
logger.info("Delete ROSPEC message ...");
DELETE_ROSPEC del = new DELETE_ROSPEC();
del.setROSpecID(new UnsignedInteger(1));
response = connection.transact(del, 10000);

// load ADD_ROSPEC message
logger.info("Loading ADD_ROSPEC message from file ADD_ROSPEC.xml ...");
LLRPMessage addRospec = Util.loadXMLLLRPMessage(new
File("data/ADD_ROSPEC.xml"));

// send message to LLRP reader and wait for response

logger.info("Sending ADD_ROSPEC message ...");
response = connection.transact(addRospec, 10000);

// check whether ROSpec addition was successful
StatusCode status = ((ADD_ROSPEC_RESPONSE)response).getLLRPStatus().getStatusCode();
if (status.equals(new StatusCode("M_Success"))) {
logger.info("Addition of ROSPEC was successful");
}
else {
logger.info(response.toXMLString());
logger.info("Addition of ROSPEC was unsuccessful, exiting");
System.exit(1);
}

logger.info("Enable ROSPEC ...");
ENABLE_ROSPEC enable = new ENABLE_ROSPEC();
enable.setROSpecID(new UnsignedInteger(1));
response = connection.transact(enable, 10000);

logger.info("Start ROSPEC ...");
START_ROSPEC start = new START_ROSPEC();
start.setROSpecID(new UnsignedInteger(1));
response = connection.transact(start, 10000);

} catch (Exception e) {
e.printStackTrace();
System.exit(1);
}
logger.info("RO_ACCESS_REPORT will be arriving asynchronously ...");
}

// messageReceived method is called whenever a message is received

```

```

// asynchronously on the LLRP connection.

public void messageReceived(LLRPMessage message) {

// convert all messages received to LTK-XML representation
// and print them to the console

if(message.getResponse().equals(RO_ACCESS_REPORT.RESPONSETYPE)){
RO_ACCESS_REPORT response = (RO_ACCESS_REPORT)message;
List<TagReportData> tagList= response.getTagReportDataList();
String msg = tagList.get(0).getEPCParameter().toString();
String Tag = msg.split(":")[2];
new Acoes().addTag(Tag).doJob();
System.out.println(Tag);
}
}

public void errorOccured(String s) {
logger.info("Error Occured: " + s);
}
}

```