



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE CAMPUS ARACATI
COORDENADORIA DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

JOHNATTAN DOUGLAS FERREIRA VIANA

**PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE LOCAIS DE RISCO PARA
CICLISTAS BASEADO NO SENSORIAMENTO DE BICICLETAS**

**ARACATI-CE
2018**

JOHNATTAN DOUGLAS FERRREIRA VIANA

PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE LOCAIS DE RISCO PARA CICLISTAS
BASEADO NO SENSORIAMENTO DE BICICLETAS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE - Campus Aracati, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientadora: Profa. Dra. Carina Teixeira de Oliveira

Aracati-CE
2018

JOHNATTAN DOUGLAS FERREIRA VIANA

PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE LOCAIS DE RISCO PARA CICLISTAS
BASEADO NO SENSORIAMENTO DE BICICLETAS

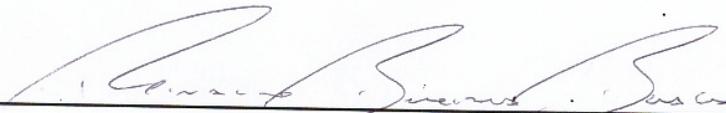
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Bacharelado em
Ciência da Computação do Instituto Fe-
deral de Educação, Ciência e Tecnologia
do Ceará - IFCE - Campus Aracati, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em 18 de abril de 2018.

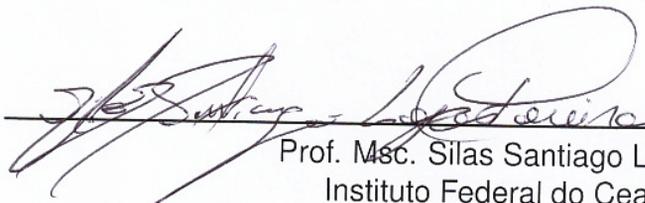
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Carina Teixeira de Oliveira
(Orientadora)
Instituto Federal do Ceará - IFCE



Prof. Dr. Reinaldo Bezerra Braga
Instituto Federal do Ceará - IFCE



Prof. Msc. Silas Santiago Lopes Pereira
Instituto Federal do Ceará - IFCE

***“É preciso sair da ilha para ver a ilha.
Não nos vemos se não saímos de nós.”***

José Saramago,
Prêmio Nobel da Literatura (1998),
em *Conto da Ilha Desconhecida*.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Vida, ao Universo e tudo mais.

Ao meu irmão, por me fazer sair da minha ilha todos os dias, por ser a inspiração para a realização deste trabalho e por ter me apresentado um mundo diferente do meu, silencioso.

Aos meus pais, pela motivação, apoio, amor incondicional, pelas pessoas fortes que são e por terem me ensinado tanto durante toda a minha vida.

À minha família e amigos, que sempre se fizeram presentes.

À minha orientadora, pela atenção e esmero na revisão deste trabalho.

À banca avaliadora, pelas críticas construtivas e opiniões sinceras.

Ao empresário Ernesto Souza, pela doação da bicicleta utilizada na montagem do protótipo apresentado neste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que apoiou esse trabalho através do edital PIBITI/PRPI/2016.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) que também deu suporte a este trabalho por meio do edital PAPEX/PROEXT/2016.

Ao LAR (Laboratório de Redes e Sistemas Multimídia), laboratório no qual este trabalho foi desenvolvido e que se tornou "lar" de muitos alunos.

Ao Campus Aracati e seus servidores, que me deram apoio e suporte para chegar até aqui.

E, por fim, à todos os meus professores. Admiro muito vocês!

RESUMO

A Internet das Coisas (IoT) tem sido amplamente estudada e adotada no desenvolvimento de sistemas computacionais em cenários de Cidades Inteligentes. Com o crescimento da população que vive nas cidades, esses sistemas vêm sendo aplicados atualmente para mapear indicadores para questões do planejamento urbano, fazendo com que as Cidades Inteligentes sejam vistas como mecanismos capazes de melhorar essa realidade. Neste trabalho, as bicicletas são vistas nesse cenário como objetos inteligentes, sendo, portanto, capazes de coletar dados e de disponibilizá-los para aplicações. Além disso, o uso da bicicleta como meio de transporte aumentou e, no Brasil, cerca de um terço da população já usa esse meio de transporte. Porém, muitas vezes, os ciclistas precisam dividir as ruas com outros tipos de veículos e, embora existam ciclovias em algumas situações, somente essas iniciativas não garantem a total segurança dos ciclistas, seja pela falta de atenção dos motoristas, de sinalização ou por causa da má qualidade da via. Com o intuito de auxiliar nessa questão, este trabalho está direcionado ao sensoriamento de ciclistas, de modo a aumentar a segurança no trânsito urbano para essa parcela. A abordagem utilizada nesta proposta se baseia na utilização de um sensor de distância ultrassônico integrado a um Arduíno para identificar situações de risco baseado em proximidade e relacioná-las à posições geográficas. Esses dados são salvos em um Banco de Dados em nuvem e mostrados em uma aplicação *web* que possui dois tipos de geovisualização: mapa de marcadores e mapa de calor. Os mapas são recursos que podem auxiliar tanto o ciclista quanto a gestão pública, evidenciando áreas de risco para esse público e facilitando a tomada de decisão. Esta proposta pode servir não apenas para a escolha de um local para aplicação de uma ciclovia ou ciclofaixa, como também para identificar áreas de grande tráfego de veículos.

Palavras-chaves: Internet das Coisas. Cidades Inteligentes. Sensoriamento. Ciclismo.

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) has been widely studied and adopted in the development of computational systems to Smart Cities scenarios. With the growth of the population living in cities, these systems are currently being applied to map indicators for urban planning issues, making Smart Cities to be seen as mechanisms capable of improving this reality. In this approach, bicycles are seen in this scenario as smart objects that are able to collect data and make them available for applications. Besides that, the use of the bicycle as a means of transport has increased and nowadays about a third of the population uses this means of transport. However, cyclists often need to share streets with other types of vehicles, and although there are bike lanes in some situations, only these initiatives do not guarantee the complete safety of cyclists, either due to drivers' lack of attention, transit signage or because of poor street quality. In order to assist in this issue, this proposal directs its study to the sensing of cyclists, in order to increase urban traffic safety for this parcel. The approach applied in this proposal uses an ultrasonic distance sensor integrated with an Arduino to identify situations of risk based on proximity and relate this data to geographical positions. These data is saved in a cloud database and displayed in a web application that has two types of geo-visualization: marker map and heat map. This application uses maps as methodologies that can help both the cyclist and the public management, highlighting areas of risk for this public and facilitating decision making. This proposal can be applied not only to select a place to build a bicycle path or cycle path, but also to identify areas of high vehicular traffic.

Keywords: Internet of Things. Smart Cities. Sensing. Cycling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de tecnologias emergentes a partir de Julho de 2016.	19
Figura 2 – Representação da IoT como convergência de diferentes abordagens.	20
Figura 3 – Arquitetura dos <i>Smart Objects</i> e seus componentes.	21
Figura 4 – Representação de arquitetura para soluções IoT.	22
Figura 5 – Exemplo de arquitetura de aplicação para Cidades Inteligentes.	24
Figura 6 – Representação de tecnologia assistiva para o ambiente de IoT.	26
Figura 7 – Aplicativo <i>Hand Talk</i> .	27
Figura 8 – Especificação dos diversos sensores presentes na placa AirQuino.	28
Figura 9 – Aplicação BeCity.	29
Figura 10 –Aplicação de Barreto (2016).	29
Figura 11 –Aplicativo da COBI.	31
Figura 12 – <i>Hardware</i> da SmartHalo acoplado no guidão da bicicleta.	31
Figura 13 –Capacete LIVALL.	32
Figura 14 –Visão Conceitual da Proposta.	34
Figura 15 –Proposta Adaptada para o Cenário de Ciclismo.	38
Figura 16 –Placa do Arduíno UNO.	40
Figura 17 –Sensor de distância ultrassônico.	40
Figura 18 –Representação do funcionamento do Sensor Ultrassônico.	41
Figura 19 –Módulo <i>Bluetooth</i> .	42
Figura 20 –Tela inicial da aplicação <i>Mobile</i> .	43
Figura 21 –Telas do aplicativo <i>mobile</i> com leituras do sensor ultrassônico.	44
Figura 22 –Representação do protótipo*.	45
Figura 23 –Tipos de Mapas utilizados na aplicação <i>Web</i> .	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre estudos relacionados.	30
Tabela 2 – Comparativo entre tecnologias relacionadas.	33
Tabela 3 – Componentes presentes na bicicleta.	39
Tabela 4 – Exemplo de estruturação no Banco de Dados.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
BD	Banco de Dados
BSI	<i>British Standards Institution</i>
CEET	<i>Centre for Energy-Efficiente Telecommunications</i>
GDB	<i>Geo Data Base</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
IBOPE	Instituto Brasileiro de Opinião e Estatística
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IFCE	Instituto Federal do Ceará
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JSON	<i>Javascript Object Notation</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PAN	<i>Personal Area Network</i>
REST	<i>Representation State Transfer</i>
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>

SQL	<i>Structured Query Language</i>
SWB	<i>Sensor Web Bike</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	16
1.2	Publicações	16
1.3	Estruturação	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Internet das Coisas	18
2.2	Cidades Inteligentes	22
3	TRABALHOS RELACIONADOS	25
3.1	Acessibilidade	25
3.2	Estudos Relacionados	28
3.3	Tecnologias Relacionadas	30
4	VISÃO CONCEITUAL DA PROPOSTA	34
4.1	Camada de Aquisição	35
4.2	Camada de Nuvem	36
4.3	Camada de Aplicação	37
5	IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS	38
5.1	Camada de Aquisição	39
5.1.1	Controlador	39
5.1.2	Sensores	40
5.1.3	Comunicação	42
5.1.3.1	Aplicação <i>Mobile</i>	42
5.1.4	Protótipo	44
5.2	Camada de Nuvem	44
5.3	Camada de Aplicação	46
5.3.1	Aplicação <i>Web</i>	46
5.3.1.1	Mapa de Marcadores	47
5.3.1.2	Mapa de Calor	47
6	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos fazem parte da história humana. Eles se tornaram tão acentuados e pervasivos que, muitas vezes, são indispensáveis para ações simples do cotidiano (MULAY, 2015). Esses avanços possibilitaram o surgimento das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), que fazem uso da interoperação entre componentes de *hardware* e *software*. De acordo com um relatório do Centro de Telecomunicações para Eficiência Energética (*Centre for Energy-Efficient Telecommunications* - CEET), as TICs fazem parte de um dos setores da indústria que mais cresce e, além disso, têm um crescimento anual de aproximadamente 40% no tráfego de Internet (CEET, 2016). As TICs permitem a criação de ambientes inteligentes e automatizados nos quais tarefas repetitivas são executadas por máquinas, a fim de trazer conforto, segurança, conveniência e sustentabilidade (ALAM; REAZ; ALI, 2012).

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) é um aspecto promissor nesse sentido, pois faz com que o mundo físico e o mundo tecnológico se relacionem. Em poucas palavras, a IoT nada mais é que uma extensão da Internet atual, que proporciona aos objetos do dia-a-dia, com capacidade computacional e de comunicação, que se conectem à Internet e se relacionem entre si (SANTOS et al., 2016). Este relacionamento permite que objetos do cotidiano estejam interligados, possibilitando a conexão à Rede à qualquer hora, de qualquer lugar, por qualquer pessoa e utilizando qualquer objeto (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Usando o recurso desses objetos é possível controlá-los, detectar seu contexto, fazer com que eles reajam a eventos, viabilizar troca de informações uns com os outros, acessar serviços da Internet e interagir com pessoas (SANTOS et al., 2016).

Entende-se como "objetos" aqueles equipamentos que possuem capacidade de comunicação e processamento aliados a sensores, os quais transformam a utilidade destes objetos. Atualmente, não só computadores convencionais são vistos como objetos, mas também uma grande variedade de TVs, *laptops*, *smartphones*, *webcams*, consoles de jogos, automóveis e *wearable devices*, por exemplo. Essa variedade de dispositivos no cenário de IoT é uma pluralidade crescente e representa grandes desafios relacionados à padronização de protocolos e arquiteturas. Ainda assim, a IoT é identificada por especialistas da área como uma tecnologia emergente (GARTNER, 2016).

Apesar de tal cenário ser encontrado fora de ambientes comuns, a IoT é praticável, dada a popularização dos dispositivos móveis (GUBBI et al., 2013). A *International Business Machines* (IBM), empresa do ramo tecnológico, estima que até 2020 o número de dispositivos existentes será aproximadamente 212 bilhões.

Desta quantidade, cerca de 30 bilhões de dispositivos estarão conectados à Internet. Usando os recursos destes dispositivos será possível detectar seu contexto, controlá-lo, viabilizar troca de informações uns com os outros, acessar serviços da Internet e interagir com pessoas.

Essa grande quantidade de dispositivos possibilita o desenvolvimento de diversas aplicações para a Internet das Coisas que torna serviços mais conscientes, interativos e eficientes. A aplicabilidade é vasta: cidades e casas inteligentes, rede de sensores, gerenciamento de recursos, telemedicina, soluções que ajudem na economia e no racionamento de energia, automação na agricultura, etc.

Com a convicção de que a IoT pode auxiliar nas atividades cotidianas das pessoas, esse conceito está se tornando comum e aplicado nos contextos urbanos (NAMBIAR; SHROFF; HANDY, 2018). Esses cenários são conhecidos como Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) e representam a integração de tecnologias para melhorar a infraestrutura urbana e tornar os serviços mais interativos, eficientes e acessíveis para os cidadãos (ZANELLA et al., 2014; HAMMI et al., 2018).

Esse grande volume de dados na rede torna propício o surgimento de várias aplicações que podem fazer a integração de serviços, resultando em soluções com coleta de dados, análise e tomada de decisão em tempo real. Algumas dessas aplicações trabalham com dados georreferenciados e são chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) (LONGLEY et al., 2013).

Os SIGs fazem uso de coleta, armazenamento, processamento e análise de dados georreferenciados são com o intuito de mapear indicadores para questões do planejamento urbano e regional. Com o intuito de auxiliar na segurança pública no trânsito, este trabalho direciona seu estudo para a coleta de dados de ciclistas. Desta maneira, é possível analisar informações coletadas pelo sensoriamento de ciclistas, utilizando dados de geolocalização de forma a identificar locais que possuam indicadores de risco.

Inicialmente, a preocupação com a segurança de ciclistas surgiu estando direcionada para o auxílio e inclusão dos ciclistas surdos. No entanto, embora o foco inicial do trabalho tenha sido esse público, percebeu-se que a aplicação da proposta é muito mais ampla, tendo em vista o aumento de bicicletas nas ruas. Em 1965, de acordo com o *WorldWatch Institute*¹, a produção mundial de carros e motos foi essencialmente a mesma, com aproximadamente 20 milhões de unidades cada. No entanto, nos últimos anos, a produção de bicicletas subiu para mais de 100 milhões de unidades por ano em comparação com 42 milhões de unidades de carros. No ano passado, a produção de bicicletas foi de 127 milhões de unidades

¹ <http://www.worldwatch.org/>

no mundo, um aumento de 18% em relação a 2004. Esta tendência de consumo é socialmente desejável, pois tem um impacto positivo na saúde da população e no tráfego urbano (SOUZA; GOMES, 2014).

Um fator que condiciona o uso da bicicleta é a associação de que somente países menos desenvolvidos ou as pessoas com baixa renda utilizam a bicicleta como meio de transporte (CORREA; CUNHA; BOARETO, 2010). Segundo essa visão, só utilizariam a bicicleta como meio de transporte pessoas que não dispõem de recursos para uma tarifa de ônibus ou para adquirir um veículo motorizado. No entanto, o que se verifica em diversos países desenvolvidos é justamente o contrário: a política de mobilidade por bicicleta é um fator de desenvolvimento urbano, com redução da poluição e promoção de qualidade de vida. Nesses países, a bicicleta tem papel fundamental no sistema de mobilidade e recebe tratamento prioritário nos projetos de planejamento urbano.

Uma pesquisa realizada na cidade de São Paulo pelo Instituto Brasileiro de Opinião e Estatística (IBOPE) evidenciou que praticamente um terço da população já usa a bicicleta como meio de transporte (IBOPE, 2012). De acordo com a mesma pesquisa, entre as pessoas que disseram nunca utilizar a bicicleta, 63% afirmaram que passariam a usar se houvessem melhores condições para os ciclistas.

Algumas outras análises também evidenciam que é comum o aumento do fluxo de bicicletas e a diminuição do índice de acidentes após a implantação das ciclofaixas. Por exemplo, em São Paulo, o número de ciclistas na via triplicou nos últimos anos após a implantação da malha cicloviária na cidade (COSTANZO; CALLIL, 2017). Em paralelo, as mortes de ciclistas caíram 60% no mesmo período. Semelhantemente, em Fortaleza, segundo o Relatório Anual de Acidentes de Trânsito da Prefeitura, em 2016 houve uma redução de quase 40% dos acidentes envolvendo ciclistas, em relação a 2011. O estudo aponta que a redução é reflexo de ações de mobilidade e segurança viária, entre elas a ampliação da rede cicloviária, que hoje soma 209 quilômetros de ciclofaixas e ciclovias. Além disso, essas iniciativas fizeram com que o número de ciclistas aumentasse 55% na capital cearense.

Entretanto, ainda que o crescimento do número de bicicletas tenha levado ao aumento de ciclovias, somente essas iniciativas não garantem a total segurança dos ciclistas, seja pela falta de atenção dos motoristas, de sinalização ou por causa da má qualidade da via. Assim, é útil ter formas colaborativas de identificar localizações de risco de modo a aumentar a segurança no trânsito. Nesse sentido, as bicicletas devem evoluir e se adaptar a essa nova realidade.

1.1 Objetivos

Com o intuito de auxiliar na segurança de ciclistas, este trabalho tem como objetivo geral propor uma solução assistiva e de baixo custo que utiliza um controlador, em conjunto com uma aplicação *mobile* para coletar dados da bicicleta e do ambiente. Além disso, a solução faz uso de uma aplicação Web para exibição dessas leituras em um mapa, auxiliando na identificação de locais de risco e, assim, fomentando o uso da bicicleta como transporte diário alternativo. Alguns dos objetivos específicos deste trabalho se resumem em:

- Especificação de uma visão conceitual da proposta.
- Montagem de um protótipo em uma bicicleta.
- Coleta de dados por meio de sensores utilizando aplicativo *mobile*.
- Armazenamento de dados de maneira organizada e estruturada na Nuvem.
- Exibição dos dados em uma aplicação *Web*.

1.2 Publicações

Durante a pesquisa e desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso, obtiveram-se os seguintes artigos aceitos e publicados em conferências nacionais e internacionais:

- **"DeMAiS: a Decision-Making solution to enhance Accessibility of deaf cyclists in urban traffic Scenarios"** em *4th Internacional Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services (ADVANCE)* (VIANA; BRAGA; OLIVEIRA, 2015).
- **"Uma solução de baixo custo para acessibilidade e segurança de ciclistas surdos no trânsito urbano"** no XI Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação (CONNEPI) (GALDINO et al., 2016).
- **"A brief study on cycling technologies"** em *5th Internacional Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services (ADVANCE)* (VIANA et al., 2017a).
- **"A Visualization and Analysis Approach of Cyclist Data Obtained Through Sensors"** em *1° IEEE Summer School on Smart (S3C) - Best Paper* (VIANA et al., 2017b).

1.3 Estruturação

O restante desse trabalho é estruturado como se segue. No Capítulo 2, é apresentada a Fundamentação Teórica, que consiste em um detalhamento à respeito da Internet das Coisas e Cidades Inteligentes. No Capítulo 3 são apresentados os trabalhos relacionados. No Capítulo 4, a visão conceitual da proposta deste trabalho é detalhada. Em sequência, o Capítulo 5 mostra as implementações e resultados. Por fim, no Capítulo 6 são mostradas as conclusões e alguns direcionamentos para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) fazem parte da história humana e se tornaram tão acentuadas e pervasivas que, muitas vezes, são indispensáveis para ações simples do cotidiano. Alguns desses avanços se referem ao recente cenário da Internet das Coisas (IoT), que será descrito na Seção 2.1 deste Capítulo, bem como a utilização dessa tendência nos ambientes das Cidades Inteligentes, conforme mostrado na Seção 2.2.

2.1 Internet das Coisas

Em meio à tantas definições diferentes da "Internet das Coisas" (IoT), é possível que exista uma dificuldade para entender o que está por trás desse conceito e quais as implicações econômicas e técnicas para a sua implantação.

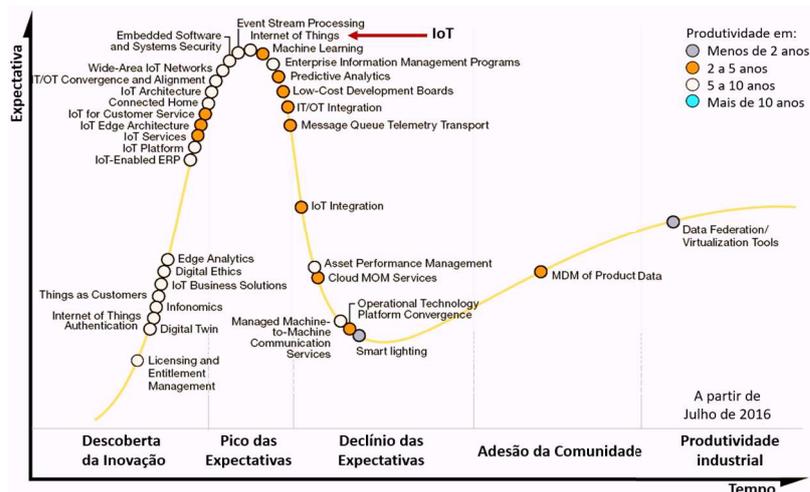
Segundo Kevin Ashton (ASHTON, 2009), o termo *Internet of Things* foi primeiramente utilizado por ele, ainda em 1999. Na época, a IoT estava relacionada somente ao uso da tecnologia de Identificação por Radiofrequência (*Radio-Frequency Identification* - RFID). Ainda que a primeira citação deste termo na literatura seja antiga, só houve o real interesse pela temática de IoT a partir de 2010 (SANTOS et al., 2016). Segundo Santos et al. (2016), por volta de 2005, o termo bastante procurado e que apresenta relação com a IoT foi Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) ou *Wireless Sensor Network* (WSN), um tipo de rede usado para monitoramento de condições físicas ou ambientais (LOUREIRO et al., 2003). Contudo, o termo *Internet das Coisas* ganhou mais popularidade crescente nos anos seguintes.

A IoT surgiu do avanço de várias áreas da computação, como sensoriamento, sistemas embarcados, microeletrônica e redes (SANTOS et al., 2016). Ela também tende a ser ubíqua e pervasiva e tem recebido bastante atenção tanto da academia quanto da indústria, devido ao seu potencial de uso nas mais diversas áreas das atividades humanas. Conforme Al-Fuqaha et al. (2015), os contextos onde a IoT é aplicável podem ser chamados de mercados verticais, já que se referem a soluções específicas para um nicho de mercado. Diferentemente, um mercado horizontal tem um propósito de aplicação mais amplo (ex. protocolos e plataformas IoT).

Certamente, a IoT é vista como uma tecnologia emergente. A Figura 1 mostra uma representação do surgimento, maturidade e adoção de diversas tecnologias, bem como a relevância delas para a solução de problemas reais. Por meio desta representação, Gartner (2016) estima que soluções IoT entrem na escala de produção

industrial entre 2021 e 2026. Além disso, observa-se que tópicos relacionados a temática estão concentrando expectativas e se tornando foco de inovação. Provavelmente, a Internet das Coisas representará a próxima revolução tecnológica de maior impacto desde o surgimento da *Web* (WANT; SCHILIT; JENSON, 2015; RAGGETT, 2015).

Figura 1: Representação de tecnologias emergentes a partir de Julho de 2016.



Fonte: Adaptado de Gartner (2016).

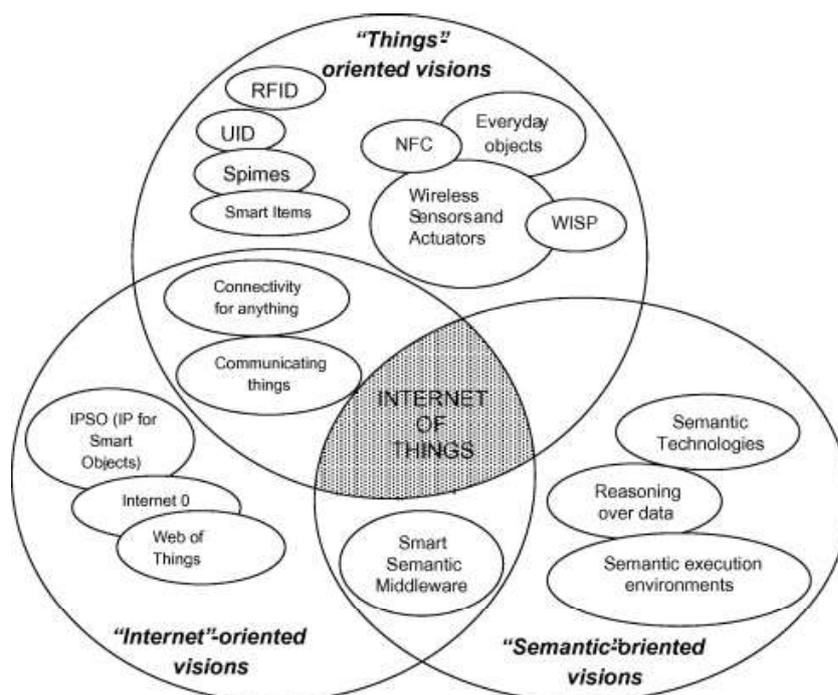
Por causa dos avanços necessários para a aplicação da IoT, é possível perceber que aos poucos o conceito de redes de computadores vem sendo alterado. Para Tanenbaum (2011), “Rede de Computadores é um conjunto de computadores autônomos interconectados por uma única tecnologia”. Em 2011, Peterson e Davie (2002) definiram que a principal característica das Redes de Computadores é a sua generalidade, isto é, elas são construídas sobre dispositivos de propósito geral e não são otimizadas para fins específicos (ex. redes de telefonia).

Já Kurose e Ross (2017) argumentam que o termo “Redes de Computadores” começa a soar um tanto envelhecido devido à grande quantidade de equipamentos não-tradicionais que são usados na Internet hoje em dia.

Segundo G. Santucci e S. Lang (2008), a IoT significa "uma rede mundial de objetos interconectados, de endereço único exclusivo, usando protocolos de comunicação padrão". Em uma definição mais recente por Misra et al. (2016), a IoT nada mais é que "a combinação de redes com vários objetos físicos, que possuem partes eletrônicas, *software* e componentes de conectividade, permitindo que esses objetos coletem e troquem dados entre si". A identificação, conectividade e segurança de cada um desses objetos, assim como o armazenamento e tratamento das informações trocadas por eles, ainda são tópicos em alta (KOSHIZUKA; SAKAMURA, 2010; CAI et al., 2017; LIN et al., 2017).

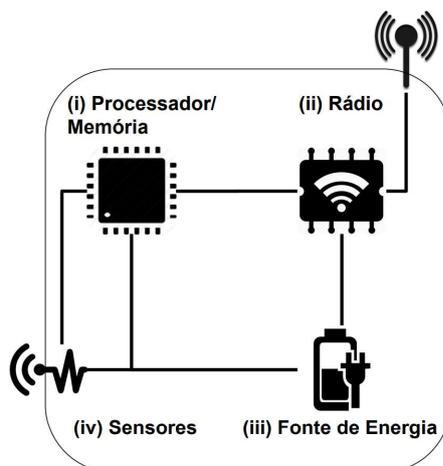
Segundo [Atzori, Iera e Morabito \(2010\)](#), o conceito de IoT é sintaticamente composto por três termos: *Internet*, *Coisas* e *Semântica*. O primeiro se refere à uma abordagem das redes utilizadas em um ambiente de IoT; o segundo se direciona para os objetos que estarão se comunicando, integrados a esta estrutura de rede; e o terceiro se refere à *Semântica* das informações trocadas entre os objetos da rede. No entanto, segundo os pensamentos do mesmo autor, as visões da IoT divergem dependendo das partes interessadas nela. Por exemplo, empresas geralmente estão mais interessadas em abordar essa temática em uma perspectiva das *Coisas*, que resultarão em possíveis produtos. Enquanto que universidades e órgãos de padronização tendem a abordar essa questão em uma perspectiva voltada para a pesquisa ([ATZORI; IERA; MORABITO, 2010](#)). Contudo, é importante destacar que quando as palavras *Internet* e *Coisas* são postas juntas, o termo *Internet das Coisas* assume um significado que traz consigo uma certa inovação nas TICs existentes hoje.

Figura 2: Representação da IoT como convergência de diferentes abordagens.



Fonte: [Atzori, Iera e Morabito \(2010, pág. 2789\)](#).

Na Figura 2, alguns conceitos, tecnologias e padrões são destacados e agrupados nas diferentes abordagens da IoT citadas acima (*Internet*, *Coisas* e *Semântica*). Conforme [Atzori, Iera e Morabito \(2010\)](#), a IoT parece ser o resultado da convergência dessas três abordagens. No que diz respeito às *Coisas*, segundo alguns autores ([RUIZ et al., 2004](#); [LOUREIRO et al., 2003](#)), a unidade básica de *hardware* na IoT também pode ser chamada de objetos inteligentes (ou *Smart Objects*). Um exemplo das arquiteturas desses objetos é mostrado na Figura 3.

Figura 3: Arquitetura dos *Smart Objects* e seus componentes.

Fonte: Santos et al. (2016).

De acordo com a Figura 3, é possível observar que esses objetos possuem unidades de:

- **Processamento/memória:** Composta de uma memória interna para armazenamento de dados e programas, um microcontrolador e um conversor analógico-digital para receber sinais dos sensores. O processamento realizado nesses dispositivos é, em geral, feito pelos próprios sistemas embarcados, que não apresentam alto poder computacional. Frequentemente existe uma memória externa do tipo *flash*, que serve como memória secundária. As características desejáveis para estas unidades são consumo reduzido de energia e mínima ocupação de espaço possível.
- **Comunicação:** Consiste de pelo menos um canal de comunicação com ou sem fio, sendo mais comum o meio sem fio. Neste último caso, a maioria das plataformas usam rádio de baixo custo e baixa potência. Como consequência, a comunicação é de curto alcance e apresenta perdas frequentes. Esta unidade básica será objeto de estudo mais detalhado na próxima seção.
- **Sensor(es) ou atuador(es):** Realizam o monitoramento do ambiente no qual o objeto se encontra. Os sensores capturam valores de grandezas físicas como temperatura, umidade, pressão e presença. Atualmente, existem literalmente centenas de sensores diferentes que são capazes de capturar essas grandezas. Atuadores, como o nome indica, são dispositivos que produzem alguma ação, atendendo a comandos que podem ser manuais, elétricos ou mecânicos.
- **Fonte de energia:** Componente responsável por alimentar eletricamente os circuitos desta arquitetura. Atualmente, alguns estudos estão focados em tornar

esses componentes mais eficientes (PERERA et al., 2017; SARWESH; SHET; CHANDRASEKARAN, 2017).

Entende-se então que os objetos com tais características poderão ser usados com diversas aplicações e finalidades e, ao estabelecerem comunicação uns com os outros, serão capazes de se comunicar, prover e usar serviços, disponibilizar dados e reagir a eventos (GUBBI et al., 2013).

No que diz respeito à arquitetura dessas aplicações, a Figura 4 mostra um modelo com três camadas. A camada inferior representa a camada de percepção. Os objetos inteligentes estão presentes nesta camada e fazem usos de sensores para coletar e processar informações. Na camada intermediária encontra-se a Camada de Rede que é responsável pelos serviços de gerenciamento, roteamento e identificação, desempenhando papel mediador entre as Camadas de Percepção e Aplicação, sendo esta última responsável por disponibilizar aplicações para os usuários.

Figura 4: Representação de arquitetura para soluções IoT.



Fonte: Santos et al. (2016, pág. 13).

O exemplo de arquitetura comum mostrada na Figura 4 se assemelha à visão conceitual desta proposta, que será mostrada no Capítulo 4. Além disso, outras aplicações para IoT também são estruturadas desta forma. Uma delas, voltada para acessibilidade, será abordada na Seção 3.1.

2.2 Cidades Inteligentes

Mesmo sendo possível que a IoT seja aplicada em várias áreas, a utilização desse conceito no cenário urbano tem se tornado um dos mais atrativos, definindo as chamadas "Cidades Inteligentes" (MEDINA; PEREZ; TRUJILLO, 2017). As Cidades inteligentes, ou *Smart Cities*, são um visão de desenvolvimento urbano que transforma o ambiente das cidades por meio dos avanços tecnológicos. Em outras palavras, as Cidades inteligentes representam a integração de tecnologias que melhoram a infraestrutura urbana e tornam os serviços mais interativos, eficientes e acessíveis para os cidadão (GHARAIBEH et al., 2017).

Segundo (PELLICER et al., 2013), o surgimento desses ambientes inteligentes nos contextos urbanos se deu por dois motivos. O primeiro está relacionado ao crescimento da população e ao êxodo rural, tendo em vista a estimativa de que, até 2050, 70% da população resida no ambiente urbano. O segundo fator corresponde às preocupações referentes à escassez dos recursos naturais, mudanças climáticas e à poluição do meio ambiente, que podem comprometer a população mundial nos próximos anos.

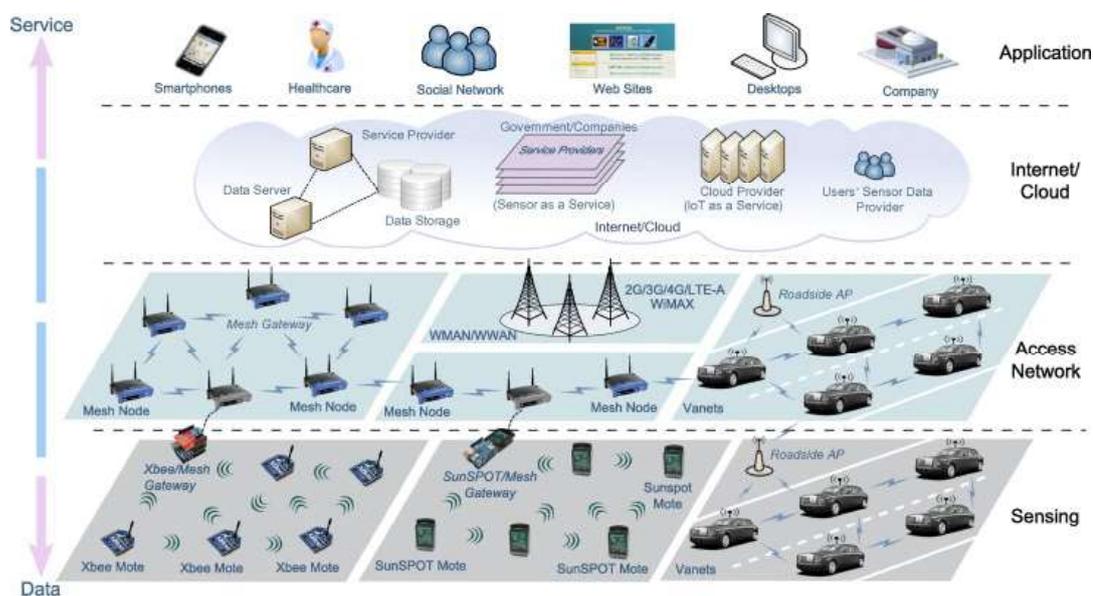
Além desses fatores, o aumento da concentração de pessoas nas megalópoles trouxe problemas secundários, como o congestionamento de tráfego, aumento de índices criminais, desperdício de recursos, entre outros. Hoje, as Cidades Inteligentes são vistas como mecanismos capazes de melhorar essa realidade, adotando infraestruturas e serviços vinculados às TICs (RANDHAWA; KUMAR, 2017).

Conforme listado por Georgescu e Popescul (2016), as mais relevantes áreas de aplicações tecnológicas para Cidades Inteligentes se resumem em:

- Mobilidade urbana (e.g., gerenciamento de tráfego, compartilhamento de veículos, monitoramento da condição das estradas, sistemas de estacionamento, rotas veiculares);
- Energia (e.g., produção, armazenamento e distribuição de energia, gerenciamento energético, otimização da iluminação pública);
- Segurança (e.g., vigilância por satélite, monitoramento territorial, proteção dos cidadãos);
- Governo (e.g., tarifação inteligente, transparência de processos administrativos, envolvimento dos cidadãos em decisões legislativas);
- Economia (aumento da competitividade nas indústrias, inovação e pesquisas em empresas);
- Qualidade de vida (facilidades na educação, entretenimento, sistemas de saúde).

As aplicações para Cidades Inteligentes são vastas, e podem fazer a integração entre diversos serviços, resultando em soluções com coleta de dados, análise e tomada de decisão em tempo real. A Figura 5, por exemplo, ilustra uma arquitetura que engloba dispositivos heterogêneos sem fio no cenário de Cidades Inteligentes, onde é possível observar quatro camadas: Sensoriamento, Acesso à Rede, Internet e Aplicação. Neste exemplo, a Camada de Sensoriamento é a responsável pela coleta e um pré-processamento dos dados, além da comunicação entre os nós. Além disso, vários tipos de sensores podem ser usados nesta camada para coletar diferentes tipos de dados do ambiente, de veículos ou até de pessoas.

Figura 5: Exemplo de arquitetura de aplicação para Cidades Inteligentes.



Fonte: Adaptado de [Avelar et al. \(2015, pág. 6\)](#).

Já a camada de Acesso à Rede, existe para conectar os dispositivos da camada inferior à Internet, gerenciando a comunicação entre os diferentes tipos de nós e tecnologias. Essa organização também é usada para deixar as soluções escaláveis, além de muitas vezes ser usada para aumentar o alcance das RSSF. Na camada de Internet estão presentes os servidores que disponibilizam os dados aos usuários pela Internet. Esta camada é responsável por armazenar e distribuir o volume de dados presentes nos bancos de dados e serviços da web. Isto possibilita que a disponibilização dos dados seja tratada como serviço para a Camada de Aplicação, onde se encontram aplicações para os usuários finais. Essas aplicações podem se tratar, por exemplo, de smartphones, páginas da Web, empresas ou até redes sociais.

De um ponto de vista acadêmico, várias metodologias para o gerenciamento de Cidades Inteligentes podem ser encontrados na literatura ([DIAZ-DIAZ; MUNOZ; PEREZ-GONZALEZ, 2017](#)). Além disso, por meio da Instituição das Normas Britânicas (*British Standards Institution* - BSI) e da Organização Internacional para Padronização (*International Organization for Standardization* - ISO), os pesquisadores da área também avançaram no que diz respeito às padronizações dessas tecnologias, resultando em iniciativas inovadoras ao redor do mundo, como a SmartSantander ([SANCHEZ et al., 2013](#)), SOFIA ([FILIPPONI et al., 2010](#)), CitiSense ([BALES et al., 2012](#)) e PortoLivingLab ([SANTOS et al., 2018](#)). No entanto, a maioria desses projetos segue a abordagem tradicional de utilizar dispositivos caros e software proprietário, evidenciando a falta de iniciativas que se concentram em infraestruturas simples e de baixo custo, como a proposta neste trabalho.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

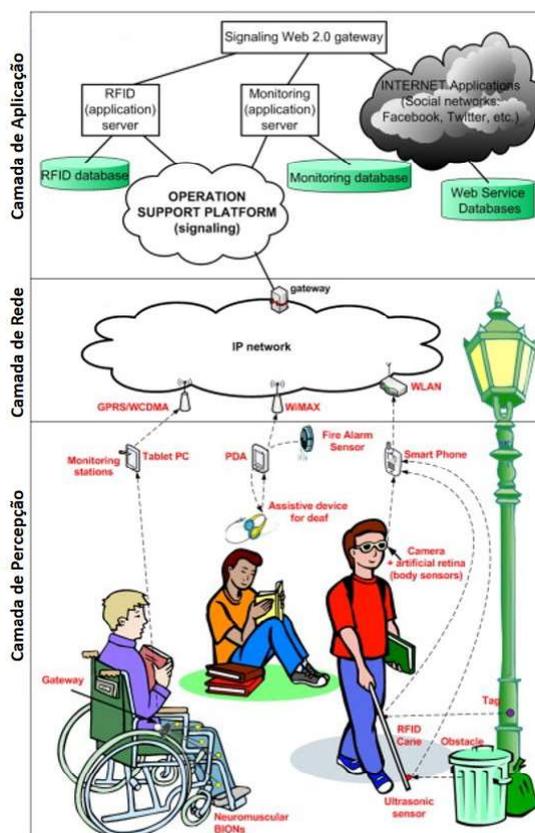
Conforme destacado nos Capítulos 1 e 2, os avanços tecnológicos aplicados ao contexto das Cidades Inteligentes resultam na melhoria da infra-estrutura urbana e tornam os centros urbanos mais eficientes e melhores para se viver (ZHUHADAR et al., 2017; BIBRI; KROGSTIE, 2016). Como mostrado, a aplicabilidade neste cenário é vasta: sistemas inteligentes de água e de iluminação pública, cobertura de internet banda larga sem fio, uso de fontes renováveis de energia, coleta automática de resíduos, sistema de saúde com prontuários eletrônicos integrados, etc. Recentemente, certas aplicações estão voltadas para a mobilidade nesses ambientes, como é o caso do sensoriamento do tráfego urbano. Algumas dessas aplicações estão ainda voltadas para os ciclistas, que estão cada vez mais presentes nas ruas. Porém, somente isto não garante a total segurança dos ciclistas, seja pelo alto tráfego, a falta de atenção dos motoristas ou irregularidades das vias. Neste sentido, as bicicletas devem evoluir e se adaptar à esta nova realidade, sem deixar de lado a inclusão social e acessibilidade (Seção 3.1). Conforme mostrado ao decorrer deste capítulo, a necessidade deste avanço abre margem para vários estudos e pesquisas. Alguns desses trabalhos serão abordados na Seção 3.2, enquanto que algumas tecnologias relacionadas presentes no mercado serão mostradas na Seção 3.3.

3.1 Acessibilidade

As bicicletas são muitas vezes vistas como um meio de transporte perigoso. Por esse motivo, existem muitos estudos que avaliam o impacto da segurança dos ciclistas (JACOBSEN, 2003; STRAUSS; MIRANDA-MORENO; MORENCY, 2015). Relacionado à isso, conforme citado anteriormente no Capítulo 1, o público-alvo deste trabalho também abrange os ciclistas surdos, preocupando-se com a segurança dos mesmos. Por essa razão, realizou-se uma pesquisa à respeito da questão da acessibilidade em ambientes de IoT. Esta temática foi principalmente explorada por Domingo (2012). A autora, além de especificar cenários nos quais as tecnologias assistivas podem ser utilizadas, também apresenta arquiteturas para desenvolver aplicações IoT com foco na acessibilidade (Figura 6). A arquitetura apresentada por Domingo (2012) serviu como modelo para a especificação da DeMAiS, arquitetura a partir da qual foi desenvolvida a visão conceitual mostrada no Capítulo 4.

Conforme a Figura 6, a arquitetura para soluções acessíveis para o cenário de IoT podem ser estruturadas nas seguintes camadas:

Figura 6: Representação de tecnologia assistiva para o ambiente de IoT.



Fonte: Adaptado de Domingo (2012).

- **Camada de Percepção:** a sua função principal é identificar objetos e recolher informações do ambiente. Esta camada é formada principalmente por sensores e atuadores, estações de processamento e etiquetas de RFID. A Figura 6 exemplifica alguns desses componentes com dispositivos móveis, sensores de incêndio, câmera e sensores de distância.
- **Camada de Rede:** é constituída por redes abertas e privadas, com e sem fio (*wired/wireless*). A principal função desta camada é transmitir informações obtidas a partir da *Camada de Percepção*, que são agrupadas por dispositivos da rede e direcionadas para um *gateway* através da rede.
- **Camada de Aplicação:** é um conjunto de soluções inteligentes que se aplicam ao cenário de IoT para satisfazer as necessidades de usuários com alguma deficiência, seja em aplicações *Web*, para redes sociais, ou de monitoramento remoto.

Já que a DeMAiS se assemelha com a arquitetura apresentada por Domingo (2012) e Santos et al. (2016), a utilização da DeMAiS no presente trabalho faz com que ele seja compatível com as arquiteturas de outras aplicações para o cenário de IoT.

A popularização dos dispositivos móveis fez com que esses cenários e aplicações fossem viáveis e realizáveis, pois os aplicativos para este tipo de dispositivo são numerosos e, atualmente, aplicações móveis que funcionam em conjunto com outros componentes, como o Arduino, já são comuns (NETO, 2014).

Gomez-Martinez e Fernandez-Diaz (2014), por exemplo, descrevem um sistema de casa inteligente que tem como público alvo usuários com dificuldade de locomoção (e.g.: deficientes físicos, idosos e gestantes). Além disso, os autores mostram validam uma arquitetura para aplicações com foco na acessibilidade, abrangendo uma ampla gama de cenários do mundo real. Estes cenários incluem serviços de lazer (localização e compra de bilhetes para eventos), redes urbanas, redes sociais e serviços bancários. O trabalho também identificou a necessidade de treinamento focado em aplicações acessíveis para engenheiros de *software*.

Falando especificamente da acessibilidade de surdos, cita-se o aplicativo *Hand Talk*¹, mostrado na Figura 7. Ele foi ganhador de diversas premiações, entre elas o prêmio *WSA-Mobile* promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU), que classifica-o como o melhor aplicativo social do mundo. Esta solução realiza a tradução digital e automática de textos para a Língua de Sinais Brasileira, língua esta utilizada pela comunidade surda no Brasil. A tradução é feita por meio de um intérprete virtual, o Hugo, personagem 3D que torna a comunicação interativa e de fácil compreensão. O *Hand Talk* oferece ferramentas complementares ao trabalho do intérprete para auxiliar na comunicação entre surdos e ouvintes.

Figura 7: Aplicativo *Hand Talk*.



Fonte: www.handtalk.me

Esses trabalhos que apresentam resultados voltados para inclusão social e acessibilidade destacam a relevância de estudos científicos com esse foco, incentivando pesquisadores para se juntarem à esse ramo da tecnologia.

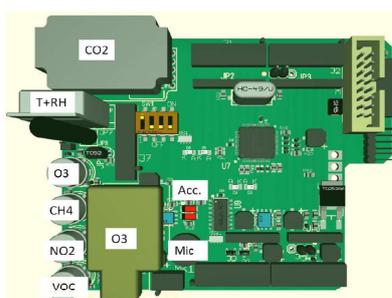
¹ www.handtalk.me

3.2 Estudos Relacionados

Foram encontrados diversos estudos que envolvem o uso de sensores em meios de transporte para coletar dados e disponibilizá-los ao usuários por meio de diversos tipos de aplicação (e.x. *Web*, *Mobile*) (ZOYSA et al., 2007; MARJOVI; ARFIRE; MARTINOLI, 2015; DONG et al., 2015). O trabalho de Liu et al. (2015), por exemplo, mostra um dispositivo que quantifica a emissão de gás dos veículos motorizados, verificando assim a qualidade do ar nas vias. Outro exemplo mais recente é o SensingBus (CRUZ et al., 2017), um sistema de sensoriamento baseado em ônibus urbanos. No entanto, nesta seção serão detalhados aqueles trabalhos que se mostraram mais relevantes em relação ao uso de sensores em bicicletas.

Primeiramente, Vagnoli et al. (2014) propõem um *framework* chamado de *Sensor Web Bike* (SWB). O SWB é composto por 3 componentes principais: *i*) um *hardware* instalado nas bicicletas para monitorar parâmetros referentes à qualidade do ar urbano e ao clima (Figura 8); *ii*) um GeoDataBase (GDB) para armazenar dados geográficos em um Banco de Dados (BD) relacional; e *iii*) uma aplicação Web que permite aos usuários visualizar e analisar os dados reunidos pelos ciclistas. Resumidamente, ciclistas usam voluntariamente suas bicicletas com o *hardware* instalado para alimentar o GDB com dados urbanos georeferenciados relacionados à temperatura, umidade, radiação solar e concentração de poluentes.

Figura 8: Especificação dos diversos sensores presentes na placa AirQuino.



Fonte: Vagnoli et al. (2014).

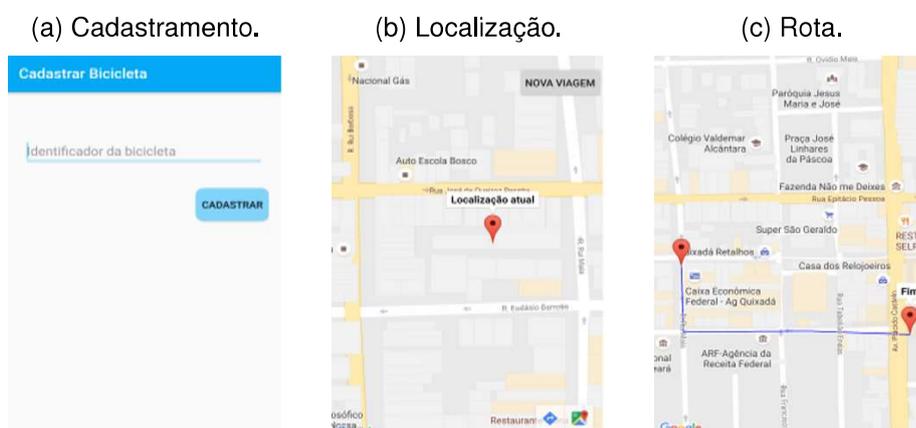
Torres et al. (2015) propõem uma funcionalidade de recomendação de rotas para a aplicação BeCity, fazendo com que o usuário evite trajetórias de grande tráfego. A aplicação foi criada com o intuito de melhorar a vida dos ciclistas nas cidades, coletando dados por meio de uma aplicação instalada no dispositivo móvel do usuário para gerar um mapa de calor, mostrado na Figura 9a. O algoritmo usado por Torres et al. (2015) para recomendação de rotas combina informações fornecidas pelos usuários para calcular a melhor rota, levando em consideração a duração, disponibilidade e segurança das rotas possíveis (Figura 9b).

Figura 9: Aplicação BeCity.



Fonte: [Torres et al. \(2015\)](#).

[Barreto \(2016\)](#) criou uma aplicação que realiza o monitoramento de bicicletas de uso individual, para saber onde as bicicletas foram estacionadas. O projeto foi dividido em três módulos: *i)* Módulo Placa, responsável por interagir com o ambiente e coletar informações utilizando o componente SIM808 acoplado no Arduíno Uno; *ii)* Módulo *Web Service*, responsável por persistir os dados utilizando NodeJS e o MongoDB e disponibilizá-los ao módulo Cliente; e *iii)* Módulo Cliente, responsável por mostrar as informações obtidas para o usuário através de uma aplicação *mobile*. Em resumo, as bicicletas foram equipadas com um módulo SIM808 que possui um sensor de Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* - GPS), uma tecnologia que consiste na localização do usuário por meio de um conjunto de satélites e determina uma localização no mapa global. Além disso, [Barreto \(2016\)](#) também utilizou uma antena com Serviços Gerais de Pacote por Rádio (*General Packet Radio Service* - GPRS) para realizar a conexão com o servidor. A placa é responsável por monitorar a localização da bicicleta, enviando essas informações para o servidor, e, posteriormente, exibindo-as em uma aplicação *mobile* (Figura 10).

Figura 10: Aplicação de [Barreto \(2016\)](#).

Fonte: Adaptado de [Barreto \(2016\)](#).

A Figura 10a mostra a tela correspondente ao cadastramento da bicicleta na aplicação. A Figura 10b mostra a localização geográfica onde a bicicleta se encontra e a Figura 10c exibe a rota da posição atual do usuário até a bicicleta. Contudo, o módulo SIM808 utilizado por Barreto (2016) para monitoramento sofre facilmente interferências e só funciona corretamente com um bom sinal telefônico (SIMCOM, 2014). Por essa razão, o projeto de Barreto (2016) tem a aplicabilidade reduzida, já que isso restringe os locais onde a aplicação pode funcionar.

A Tabela 1 detalha um comparativo entre os trabalhos descritos ao decorrer desta seção. Ao comparar o trabalho de Vagnoli et al. (2014) com a presente proposta, observa-se que ele utilizou uma placa "AirQuino", ao invés de um Arduíno UNO. Outra diferença é que os dados coletados pelos sensores que eles utilizam são voltados para monitorar o ambiente urbano (e.x. umidade, temperatura, poluição), enquanto que no presente trabalho os sensores coletam informações referentes à proximidade do ciclista de outros objetos, assim como possíveis situações de risco para o mesmo.

Tabela 1: Comparação entre estudos relacionados.

	Captura de Dados	Visualização	Monitoramento
Vagnoli et al. (2014)	AirQuino	Web	Ambiente
Torres et al. (2015)	<i>Smartphone</i>	Móvel	Bicicletas
Barreto (2016)	Arduíno e SIM808	Móvel	Bicicletas
Presente Trabalho	Arduíno e <i>Smartphone</i>	Móvel e Web	Bicicletas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma divergência em relação ao trabalho de Torres et al. (2015) é a forma de visualização dos dados, uma vez que neste presente trabalho a visualização é realizada também através de uma aplicação *Web*. Além do mais, ao comparar o trabalho de Barreto (2016) com a presente proposta, observa-se que não se utilizou um módulo separado para obtenção da localização geográfica, uma vez que essa informação foi obtida utilizando o GPS do próprio *smartphone*. Além disso, no presente trabalho, as informações capturadas pelos sensores acoplados na bicicleta não se limitam somente à posição geográfica, já que outras informações (como as do sensor ultrassônico) são utilizadas.

3.3 Tecnologias Relacionadas

Realizou-se uma análise² entre algumas outras propostas de tecnologias para ciclistas existentes no mercado. São elas a COBI, a SmartHalo e a LIVALL. A COBI

² Publicação de "A brief study on cycling technologies" em 5th Internacional Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services Viana et al. (2017a).

basicamente é um aplicativo *mobile* que conecta a bicicleta ao smartphone do ciclista (Figura 11). Este sistema oferece assistência a funcionalidades do telefone, bem como iluminação e sistema anti-roubo. Além disso, a COBI possui um acessório que pode ser controlado com o polegar para, por exemplo, atender chamadas e controlar músicas. É possível obter a COBI por \$ 339.

Figura 11: Aplicativo da COBI.



Fonte: <https://cobi.bike/>.

A SmartHalo é uma tecnologia que propõe encontrar as rotas mais rápidas e seguras para os ciclistas (Figura 12). Os usuários podem inserir o destino em seu *smartphone*, mantê-lo no bolso e seguir as indicações da luz no guidão da bicicleta. Em vez de dar às instruções do usuário de forma sequencial (*turn-by-turn*), esta solução aponta para o destino em todos os momentos. Então, os usuários podem então decidir por si só como chegar lá. Além disso, esta aplicação lembra aos ciclistas quando e onde a bicicleta está estacionada. É possível obter a SmartHalo por \$ 179.

Figura 12: *Hardware* da SmartHalo acoplado no guidão da bicicleta.



Fonte: <https://www.smarthalo.bike/>.

A Livall é um capacete capaz de se conectar ao *smartphone* (Figura 13). Por meio dele os ciclistas podem fazer chamadas de voz, conversar com outros usuários da tecnologia e monitorar o desempenho da atividade física. Além do capacete possuir indicações luminosas para aumentar a segurança do usuário, ele também detecta quando o ciclista cai e solicita ajuda. É possível obter a LIVALL por \$ 100.

Figura 13: Capacete LIVALL.



Fonte: <https://www.livall.com/>.

O comparativo entre essas tecnologias foi realizado por meio de informações retiradas de seus respectivos sites. As análises comparativas foram feitas a partir das características mostradas a seguir:

- **Navegação:** funções relacionadas à orientação e recomendação de rotas.
- **Gerenciamento *Fitness*:** capacidade de exibir informações relacionadas ao tempo de atividade, distância percorrida e calorias gastas.
- **Sistema Anti-roubo:** detecção e reação à movimentos suspeitos relacionados à possível assalto da bicicleta, com alarmes sonoros ou luzes piscando.
- **Câmera:** habilidade de tirar fotos e gravar vídeos.
- **Monitoramento:** identificação de possíveis situações de risco do ciclista, alertando-o a respeito de ambientes perigosos. É usado para recomendar trajetórias seguras para os ciclistas.
- **Baixo Custo:** obtida por um baixo custo, sendo assim financeiramente mais acessível.
- **Auto-suficiente:** aspectos relacionados à capacidade e eficiência energética.

A Tabela 2 detalha um comparativo entre as tecnologias citadas com as características descritas acima. Por meio de análise empírica, é possível perceber que a COBI tem um sistema de navegação com designer superior aos demais. O sistema de navegação é baseado no OpenStreetMap, um projeto de mapeamento colaborativo, livre, editável e gratuito (ARSANJANI et al., 2015). Além disso, a COBI integra Bluetooth e sensores ANT+ para exibir no visor do celular, acoplado ao guidão da bicicleta, dados como desempenho do atleta e frequência cardíaca. ANT é um tipo de rede de sensores sem fio, de baixa potência e de baixo consumo de energia, que funciona em 2,4 GHz, como Wi-Fi e Bluetooth. Já o ANT+ é uma aplicação do

Tabela 2: Comparativo entre tecnologias relacionadas.

	COBI	SmartHalo	Livall	Presente Trabalho
Ano	2016	2016	2015	2016
Navegação	X	X		
Gerenciamento <i>Fitness</i>	X	X	X	
Sistema Anti-roubo	X	X		
Câmera			X	
Monitoramento			X	X
Baixo Custo				X
Auto-suficiente	X		X	

Fonte: Elaborado pelo autor.

protocolo ANT que permite a ligação em rede de dispositivos ANT+ próximos para facilitar a coleta e interpretação de dados de sensores.

Na análise, a SmartHalo possui o melhor Gerenciamento *Fitness*. Com ela não é necessário pressionar o botão para iniciar ou parar, uma vez que a solução monitora as atividades do usuário e identifica quando ele começa a pedalar. Além disso, é possível visualizar os dados no aplicativo e exportá-los para um arquivo. O usuário também pode definir metas no aplicativo (como distância a ser percorrida, tempo de atividade ou calorias a serem gastas) que a SmartHalo exibe o avanço dessas atividades ao ciclista. O sistema anti-roubo dessa solução também merece destaque, uma vez que ela reconhece apenas o *smartphone* do proprietário e desativa o alarme assim que ele se aproxima da bicicleta.

No que diz respeito a LIVALL, ela é a única das soluções citadas aqui que é capaz de capturar fotos e vídeos. Além disso, ela possui um sistema de socorro, que detecta quando o ciclista cai e notifica um contato de emergência predefinido. Embora a COBI também tenha auto-carregamento, o sistema energético presente na LIVALL aparenta ser superior, já que, segundo o site do produto, a LIVALL carrega em 3 horas e tem autonomia de aproximadamente 10 horas.

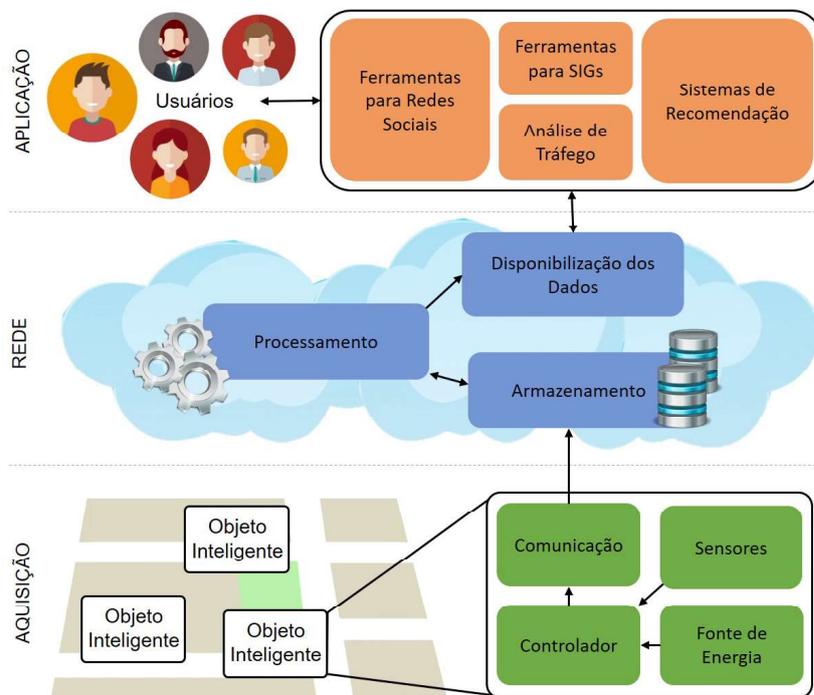
Neste breve estudo, também foi percebido que o presente trabalho é acessível, já que se preocupa com a utilização de componentes de baixo custo. Os outros produtos citados, ainda que visem apoiar a tomada de decisão em uma série de eventos relacionados ao esporte e lazer para melhorar a qualidade de vida dos ciclistas, assim como propomos, só podem ser adquiridos por um valor maior.

4 VISÃO CONCEITUAL DA PROPOSTA

Este trabalho tem como foco geral aliar componentes de *hardware* e *software* para fornecer soluções que auxiliem no cenário das Cidades Inteligentes. Neste capítulo, é feita uma contextualização sobre a visão conceitual da proposta, bem como o detalhamento dos componentes nela presentes. Além disso, são descritos de forma geral como o processo de coleta dos dados pode acontecer (Seção 4.1), assim como o processo de armazenamento e transmissão (Seção 4.2), e exemplos de aplicações (Seção 4.3).

A visão conceitual deste trabalho se baseia na arquitetura DeMAiS¹ (VIANA; BRAGA; OLIVEIRA, 2015), que se organiza em três camadas com componentes responsáveis pela aquisição de dados, armazenamento dos mesmos e disponibilização das informações para aplicações. A Figura 14 ilustra uma visão conceitual de como as camadas desta arquitetura se relacionam entre si. Cada camada realiza funções específicas que são detalhadas ao decorrer deste Capítulo.

Figura 14: Visão Conceitual da Proposta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

¹ Publicação em "DeMAiS: a Decision-Making solution to enhance Accessibility of deaf cyclists in urban traffic Scenarios" em 4th Internacional Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services (VIANA; BRAGA; OLIVEIRA, 2015)

4.1 Camada de Aquisição

Na camada responsável pela aquisição de dados em um cenário de cidades inteligentes, os objetos inteligentes são vistos como entidades capazes de interagir com pessoas, coletar informações, detectar seu contexto e reagir a eventos. Desta forma, é possível que eles interajam com a Camada de Nuvem, provendo informações que, mais tarde, poderão ser usadas na Camada de Aplicação (Figura 14).

Como mostrado no Capítulo 2, segundo Loureiro et al. (2003) e Ruiz et al. (2004), estes objetos são compostos por sensores, unidade de controle, fonte de energia e comunicação. Tratando-se dos sensores, é possível utilizar esses componentes para coletar diversos tipos de grandezas físicas do ambiente ou do próprio objeto, como temperatura, umidade, luminosidade, vibração, posição geográfica, etc. Em (VIANA et al., 2017b), por exemplo, um sensor giroscópio é usado para coletar vibrações de uma bicicleta durante o seu percurso. No Capítulo 5, é mostrado que a presente proposta utiliza um sensor ultrassônico para coletar a aproximação de veículos em um objeto inteligente (bicicleta).

No que diz respeito as unidades de controle encontradas nos objetos inteligentes, as opções também são vastas. Uma das mais famosas ultimamente é a placa Arduíno, utilizada para a implementação dos resultados mostrados no Capítulo 5. Sua escolha para implementação dos Resultados (Capítulo 5) é justificada por seu baixo custo, tornando a solução mais acessível financeiramente. No entanto, outras plataformas podem ser usadas alternativamente em substituição ao Arduíno, como a placa Raspberry Pi², o microcomputador BeagleBoard³, o microprocessador ODrone⁴ ou o Lora⁵. A utilização desses microcontroladores e microcomputadores tem se tornado cada vez mais comum em aplicações ubíquas (NETO, 2014).

No que se refere a questão energética destes objetos, a energia elétrica necessária pode ser provenientes de diversas fontes, como baterias, geradores, painéis solares, ou ainda, da própria rede elétrica dos edifícios, para objetos estáticos. Inclusive, a supervisão e otimização do consumo elétrico é uma grande questão de estudo (JIANG et al., 2007; GOMEZ et al., 2012; FISHER, 2015). Assim, tanto o *hardware* quanto o *software* devem funcionar estendendo ao máximo a vida útil dos componentes presentes nos objetos inteligentes (OIKONOMOU et al., 2015). Por fim, os componentes de comunicação que são responsáveis por enviar as coletas realizadas para a Camada de Nuvem podem utilizar várias tecnologias: *Bluetooth*⁶, GPRS,

² www.raspberrypi.org

³ www.beagleboard.org

⁴ www.hardkernel.com

⁵ www.lora-alliance.org

⁶ www.bluetooth.com

GSM, Wi-Fi, etc. Na abordagem mostrada no Capítulo 5, a tecnologia *bluetooth* é utilizada para transferir as coletas para um *smartphone* e, então, encaminhá-las para a Camada de Nuvem por meio da rede móvel do próprio aparelho. Esta abordagem foi utilizada para não ser preciso adquirir uma *shield* Ethernet para fazer a comunicação direta do Arduíno com a Camada de Nuvem.

4.2 Camada de Nuvem

Nesta camada, são recebidos os dados que foram enviados pelo componente de comunicação dos objetos inteligentes. Esses dados são armazenados, processados e depois disponibilizados para as aplicações (Figura 14). No cenário de IoT, os dados geralmente são armazenados e processados em estruturas robustas como *data warehouses* e servidores em nuvem. Além disso, a IoT também impacta no armazenamento de informações devido aos tipos de dados a serem armazenados: pessoal (usuário) e *big data* (empresas). Com esses dados sendo produzidos em larga escala, aumenta-se a demanda em termos de capacidade de armazenamento dos *data centers*, fazendo com que apareçam desafios analíticos, de segurança e de capacidade (JIN et al., 2015). Este fato torna a IoT desafiadora, pois existe uma heterogeneidade de protocolos e plataformas sendo desenvolvidas para esse cenário (GUBBI et al., 2013). No que diz respeito ao armazenamento dos dados coletados no presente trabalho (Capítulo 5), optou-se por utilizar um Banco de Dados (BD) em nuvem que armazena as coletas para após serem consumidas pela Camada de Aplicação.

Após armazenados, os dados podem ser processados para serem enriquecidos com significado, tornando os dados úteis para a tomada de decisão em diversos tipos de aplicações. Braga (2012), por exemplo, usa algoritmos de modelagem e agrupamento para analisar as trajetórias de usuários e identificar rotinas semelhantes entre amigos nas redes sociais. Ainda neste exemplo, algoritmos de correlação são usados para identificar os pontos de interesse semelhantes entre os usuários. As análises são disponibilizadas por meio de um *plugin* para redes sociais.

No presente trabalho, a disponibilização dos dados coletados é feita por meio de *Web Services*. Segundo Lecheta (2015), uma das grandes vantagens na construção de *web services* é que eles permitem acessar os serviços de uma forma padronizada e independente de linguagem de programação. Utilizou-se essa abordagem para que a Camada de Aplicação solicitasse os dados por esses serviços e recebesse dados pré-processados para serem consumidos, neste caso, a Notação de Objeto JavaScript (*JavaScript Object Notation* - JSON). Embora existam vários protocolos para a criação de *web services*, os dois mais conhecidas são o

Protocolo Simples de Acesso a Objetos (*Simple Object Access Protocol* - SOAP) e a Transferência de Estado Representacional (*Representation State Transfer* - REST). Na prática, o SOAP é um protocolo de comunicação que utiliza um grande arquivo de XML trafegado entre os sistemas para fazer a comunicação. Como o SOAP usa um grande arquivo da Linguagem Extensível de Marcação Genérica (*Extensible Markup Language* - XML), ele começou a perder espaço para *web services* REST, que utilizam JSON, uma estrutura de dados com sintaxe mais enxuta. Este segundo tipo de *web service* é utilizado nos resultados mostrados no Capítulo 5.

4.3 Camada de Aplicação

Após os dados serem disponibilizados pela Camada de Nuvem, eles podem ser utilizados para diversos tipos de aplicações: ferramentas para redes sociais e sistemas de recomendação (como proposto por BRAGA), ferramentas para SIGs, análise de tráfego, etc. Em Viana et al. (2017b), por exemplo, os dados podem ser usados em SIGs para recomendar trajetórias de acordo com o perfil e preferências de cada usuário. No que diz respeito ao presente trabalho, no Capítulo 5 é mostrado que os dados coletados pelo sensor ultrassônico e GPS são usados em uma aplicação *Web* para gerar mapas de marcadores e de calor.

Embora neste capítulo tenham sido destacadas as aplicações de soluções IoT para o cenário de trânsito e das SIGs, as aplicações IoT são muito mais vastas. Um exemplo é a aplicação FedEx *SenseAware*⁷, desenvolvida por uma das maiores transportadoras americanas. Esta aplicação consiste em uma plataforma *Web* que permite o usuário monitorar suas encomendas em tempo real, indicando sua posição geográfica, temperatura na qual o pacote se encontra e até possíveis extravios.

Cada vez mais aplicações IoT fornecem visualização para os usuários, apresentando informações de maneira intuitiva e fácil de entender. No entanto, nem todas as aplicações IoT exigem necessariamente visualização de dados, pois algumas são pensadas para que os objetos inteligentes possam monitorar o ambiente, comunicar-se, identificar e resolver problemas de forma autônoma, já que algumas aplicações não são voltadas para os usuários, e sim para os próprios objetos inteligentes (LEE; LEE, 2015). Essas aplicações precisam garantir que os dados da Camada de Nuvem sejam recebidos em tempo hábil. Por exemplo, uma aplicação de logística para uma rede de supermercado precisa monitorar em tempo real o status das mercadorias. Durante o transporte, o estado de conservação (por exemplo, temperatura e umidade) é monitorado constantemente e ações apropriadas podem ser tomadas automaticamente para evitar a deterioração dos produtos.

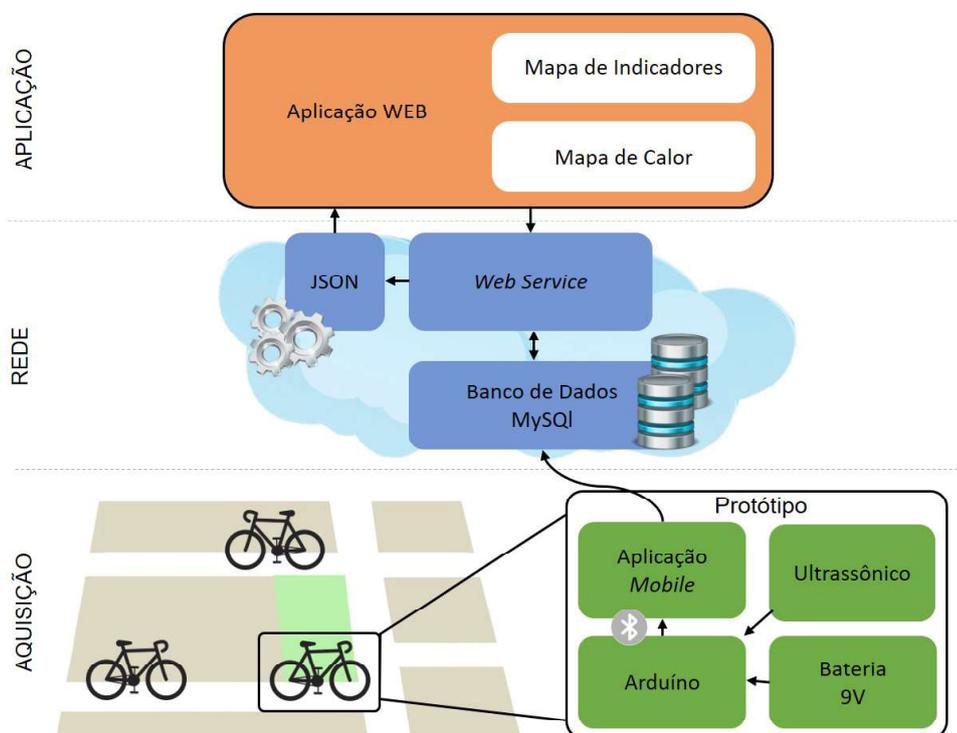
⁷ www.fedex.com

5 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Neste capítulo¹, detalhes de uma implementação e seus respectivos resultados são apresentados utilizando a visão conceitual detalhada no Capítulo 4 como base. Conforme fundamentado anteriormente, neste trabalho a implementação é direcionada para ciclistas dada a importância de soluções que prezem pela segurança desse público. Assim, no contexto da visão conceitual apresentada, as bicicletas representam os objetos inteligentes no cenário urbano, sendo elas, portanto, capazes de coletar dados referentes à proximidades de risco para que, ao final, um mapeamento de locais de riscos seja apresentado amigavelmente em uma aplicação *Web*.

A adaptação da visão conceitual da Figura 14 do Capítulo 4 para o cenário de ciclismo é apresentada na Figura 15. Na sequência, este capítulo evidencia as particularidades do cenário de estudo no que se refere às implementações feitas para a Camada de Aquisição, Camada de Nuvem e Camada de Aplicação.

Figura 15: Proposta Adaptada para o Cenário de Ciclismo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

¹ Parte do conteúdo deste capítulo foi publicado em "A Visualization and Analysis Approach of Cyclist Data Obtained Through Sensors no 1º IEEE Summer School on Smart" (VIANA et al., 2017b) e também em "Uma solução de baixo custo para acessibilidade e segurança de ciclistas surdos no trânsito urbano" no XI Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação (GALDINO et al., 2016).

5.1 Camada de Aquisição

Esta é a camada responsável pela coleta de dados por meio de dispositivos acoplados na bicicleta. Por meio de um sensor externo (ultrassônico), sensor interno do *smartphone* (GPS) e módulo de transmissão (*Bluetooth*), além de uma bateria de 9V para alimentação do Protótipo, é possível capturar informações referentes à proximidade de veículos pela traseira, identificando situações de risco para o ciclista e relacionando-as à posições geográficas.

O funcionamento dos componentes utilizados nesta abordagem (Tabela 3) e o protótipo construído são detalhados ao decorrer desta seção, bem como a aplicação *mobile* que auxilia no processo de aquisição de dados.

Tabela 3: Componentes presentes na bicicleta.

Função	Equipamento
Controlador	Arduíno UNO R3
Sensoriamento	Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04
Sensoriamento	GPS (Interno)
Transmissão	Módulo <i>Bluetooth</i> HC-05
Alimentação	Bateria 9V

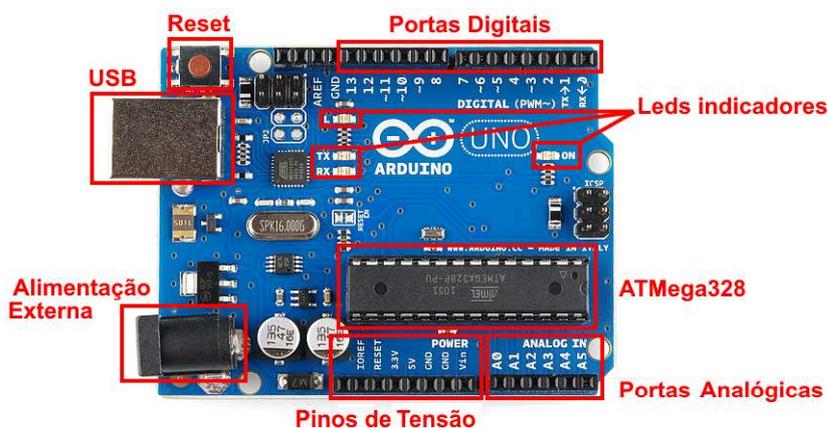
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.1 Controlador

Como controlador, utilizou-se uma placa da família Arduíno, um microcontrolador que surgiu com o intuito de criar protótipos de baixo custo em ambientes acadêmicos. O Arduíno é uma plataforma eletrônica, de código aberto, capaz de colher dados coletados por sensores, controlar atuadores e utilizar dispositivos de transmissão. Ele pode ser programado nas linguagens C e C++, em seu próprio Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment - IDE*).

Os Arduínos podem ainda funcionar com *shields*, componentes que se integram com ele e adicionam funcionalidades específicas. Nesta proposta, não se utilizou nenhuma *shield*. Deste modo, utilizou-se somente o Arduíno UNO R3, que possui 14 portas digitais de entrada/saída digital, 6 portas de entrada analógica e um microcontrolador ATmega328. Este modelo específico de Arduíno, mostrado na Figura 16, foi escolhido por ser mais compacto, o que facilitou ao acoplar o protótipo na bicicleta.

Figura 16: Placa do Arduino UNO.



Fonte: Adaptado de <http://aprendendofisica.pro.br>.

5.1.2 Sensores

O sensoriamento foi realizado por dois componentes: o sensor de distância ultrassônico e o GPS.

Ultrassônico

Nesta abordagem, utilizou-se o sensor de distância ultrassônico HC-SR04 (Figura 17) para identificar possíveis situações de proximidade de risco ao ciclista. Em outras palavras, é possível capturar a aproximação de objetos na traseira da bicicleta.

Figura 17: Sensor de distância ultrassônico.



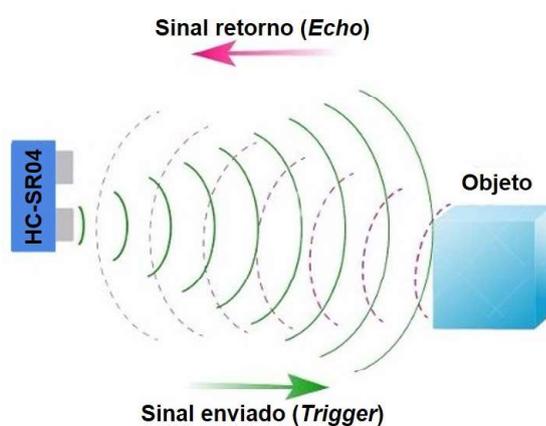
Fonte: <http://blog.filipeflop.com>.

O sensor usado na proposta é capaz de medir distâncias de 2 centímetros (d_{min}) a 4 metros (d_{max}) com precisão de 3 milímetros. O funcionamento do HC-SR04 se baseia na emissão de sinais ultrassônicos (*Trigger*) e na espera do sinal de retorno (*Echo*). Com base no tempo entre envio e retorno, o sensor calcula a distância até o objeto detectado. Esse procedimento de cálculo da distância é representado por meio da Equação 5.1.

$$d = \frac{echo \cdot V_{som}}{2} \quad (5.1)$$

Na Equação 5.1, d representa a distância que o objeto identificado se encontra do sensor, neste caso, da bicicleta. Dessa maneira, a distância é obtida por meio da multiplicação do valor do *Echo* e a velocidade do som, dividida por 2. A velocidade do som pode ser considerada idealmente igual a 340 m/s, logo o resultado é obtido em metros se considerado o tempo em segundos. Na equação, a divisão por 2 deve-se ao fato que a onda é enviada e rebatida. Logo, ela percorre 2 vezes a distância procurada. A representação do envio do sinal *Trigger* e retorno do sinal *Echo* é representado na Figura 18.

Figura 18: Representação do funcionamento do Sensor Ultrassônico.



Fonte: <http://blog.filipeflop.com>.

Para os propósitos de análise desse trabalho, considerou-se essas diferentes proximidades como indicadores de distâncias de risco baixo, mediano baixo, mediano alto e elevado. Na Equação 5.2, esses indicadores são representados, respectivamente, pelo intervalo de d_{min} até a , o intervalo de a até b , o intervalo de b até c , e o intervalo de c até d_{max} , onde d_{min} representa distância mínima de alcance do sensor ultrassônico d_{max} representa a distância máxima capturada por ele. d representa a distância capturada pelo sensor.

$$f(d) = \begin{cases} \text{se } d_{min} \leq d < a, & \text{Risco elevado} \\ \text{se } a \leq d < b, & \text{Risco mediano alto} \\ \text{se } b \leq d < c, & \text{Risco mediano baixo} \\ \text{se } c \leq d \leq d_{max}, & \text{Risco baixo} \end{cases} \quad (5.2)$$

Para fins de teste, a distância definida para a foi de 1 metro. Isso quer dizer que em situações onde veículos se encontrem, no mínimo, a 1 metro de distância da bicicleta são representadas como situações de risco elevado.

Sistema de Posicionamento Global (GPS)

O GPS utilizado nessa abordagem foi o do próprio *smartphone*, uma vez que não se utilizou um módulo separado para obtenção da localização geográfica. O GPS é uma tecnologia que consiste na localização do usuário por meio de uma rede de 24 satélites que ficam distribuídos em seis planos, próximos à órbita do planeta, e determinam uma localização no mapa global. Essa informação referente à posição geográfica do ciclista é importante para relacionar as informações lidas pelo sensor ultrassônico com sua respectiva localização geográfica.

5.1.3 Comunicação

Como abordagem para comunicação entre o objeto inteligente e a Camada de Nuvem utilizou-se uma aplicação *mobile*. Os dados coletados pelos sensores são enviados para a Camada de Nuvem por meio de um módulo de transmissão *Bluetooth* HC-05, mostrado na Figura 19. Esta tecnologia mundialmente conhecida de comunicação sem fio de curta distância (MILLER; BISKIAN, 2001) é uma tecnologia especificada pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (*Institute of Electrical and Electronic Engineers* - IEEE) através do padrão 802.15². Esse padrão engloba as Redes de Área Pessoal (*Personal Area Networks* - PAN), projetadas para baixo consumo de energia e que conectam e trocam informações entre dispositivos através de uma frequência de rádio de curto alcance (HOWITT; GUTIERREZ, 2003).

Figura 19: Módulo *Bluetooth*.



Fonte: <http://blog.filipeflop.com>.

Após os dados serem recebidos pelo *smartphone*, eles são enviados para a Camada de Nuvem com o auxílio de uma aplicação *Mobile*.

5.1.3.1 Aplicação Mobile

O aplicativo *mobile* utilizado na presente abordagem é responsável pelo auxílio no processo de coleta de dados e no encaminhamento dos mesmos para o BD em nuvem. Posteriormente, na Camada de Nuvem, esses dados são processados e disponibilizados para uma aplicação Web.

² www.standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4s-2018.html

O aplicativo *mobile* desenvolvido é compatível com Android, um sistema operacional que está presente em mais de um bilhão de dispositivos ao redor do mundo. Os dispositivos usados para teste do aplicativo foram o LG L70 e o LG L90, que possuem, respectivamente, sistema operacional Android na versão KitKat (4.4.2) e Lollipop (5.0.2).

A Figura 20 mostra a tela inicial do aplicativo, que é responsável por conectar o dispositivo aos componentes acoplados na bicicleta. Esta tela também exibe a situação atual dos componentes, indicando se a conexão com eles foi efetuada com sucesso. Ainda, é possível ativar a leitura do sensor ultrassônico e ativar o modo de monitoramento do ciclista, capturando indicadores de risco referentes à proximidade do mesmo.

Figura 20: Tela inicial da aplicação *Mobile*.



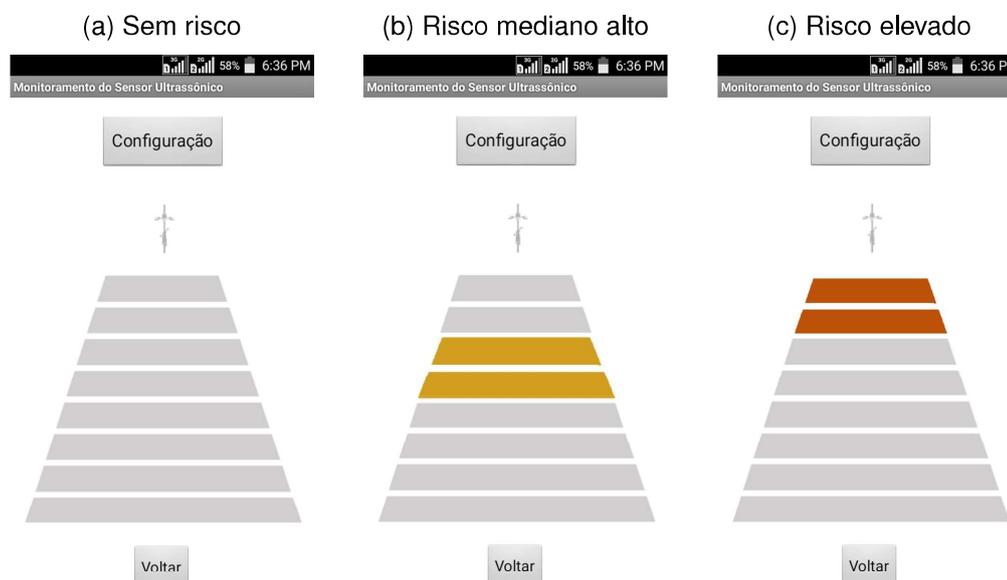
Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora a coleta de dados do sensor ultrassônico seja gerenciada pelo Arduino, optou-se por enviar esses dados para o *smartphone* e, só então, encaminhá-los via rede celular para a Camada de Aplicação, para não ser preciso adquirir as *shields* de GPS e de Internet para o Arduino. Desta forma, a posição geográfica do ciclista é capturada pelo *smartphone* por meio do GPS, sendo possível georreferenciar os dados de proximidade que foram capturados pelo sensor ultrassônico.

A Figura 21a exemplifica uma situação onde nenhum objeto é identificado próximo ao ciclista. O indicador de proximidade que aparece na figura se altera à medida que a distância entre a bicicleta e o objeto na sua traseira é alterada. A Figura 21b mostra um caso onde o ciclista é identificado em uma situação de risco mediano alto. Já a Figura 21c exemplifica a situação que necessita de mais atenção, onde o veículo identificado se encontra mais próximo do sensor, indicando que o ciclista está em uma situação de risco elevado. Neste momento, essa situação é

tratada pela aplicação e a posição geográfica do ciclista é registrada. Dessa forma, a localização geográfica de onde essas situações de risco aconteceram é armazenada no BD para ser possível visualizar essas coletas futuramente na Camada de Aplicação.

Figura 21: Telas do aplicativo *mobile* com leituras do sensor ultrassônico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.4 Protótipo

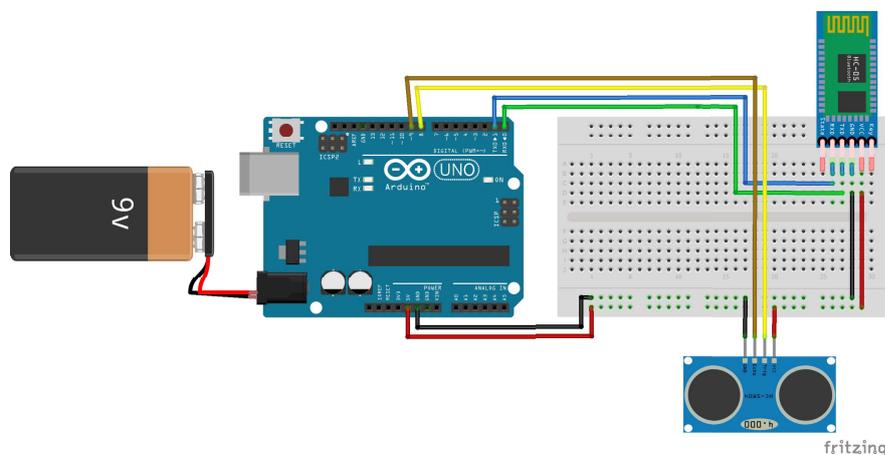
Com o intuito de coletar os dados, desenvolveu-se um protótipo com os componentes de *hardware* descritos anteriormente. Uma representação do circuito do protótipo é mostrada na Figura 22a. Nas Figuras 22b e 22c mostra-se a disposição dos componentes na bicicleta. Após a coleta, os dados das leituras do sensor ultrassônico são enviados através do *Bluetooth* para a aplicação *mobile*.

5.2 Camada de Nuvem

Esta camada é responsável pelo armazenamento, processamento e disponibilização das informações para a Camada de Aplicação. A Tabela 4 mostra um exemplo do armazenamento desses dados no BD. Observa-se que a posição geográfica é capturada pelo GPS do *smartphone* e os parâmetros de distância são coletados pelo sensor ultrassônico. Como cada coleta possui uma informação de data/hora e uma localização geográfica, é possível georreferenciar os locais de risco baseando-se nos parâmetros de distância.

Figura 22: Representação do protótipo*.

(a) Representação do circuito.



(b) Traseira da bicicleta.



(c) Dianteira da bicicleta.



*Este protótipo contém sensor ultrassônico (1), bateria 9V (2), Arduino UNO (3) e módulo de transmissão *Bluetooth* (4).

Fonte: Elaborado pelo autor.

As informações da coleta são salvas em um BD na nuvem por meio de uma conexão do *smartphone* com o MySQL, um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) que utiliza como interface a Linguagem de Consulta Estruturada (*Structured Query Language* - SQL). Para fazer requisições ao BD, utilizou-se o phpMyAdmin³.

Tabela 4: Exemplo de estruturação no Banco de Dados.

Data	Hora	Posição Geográfica	Parâmetros de Distância
dd-MM-yyyy	HH:mm:ss	GPS	Sensor Ultrassônico

Para disponibilizar esses dados para a Camada de Aplicação utilizou-se um *web services* REST, o qual faz com que os dados possam ser consumidos em JSON. Comparado ao XML, o JSON é mais enxuto e seu formato é menor, pois ele não

³ www.phpmyadmin.net

possui *tags* de abertura e de fechamento. Ele é uma estrutura de dados representada em *JavaScript* que pode ser lido e usado como um formato de dado por qualquer linguagem de programação (ECMA-404, 2017).

5.3 Camada de Aplicação

A Camada de aplicação é composta por uma aplicação *Web* que consome o JSON fornecido pelo *Web Service*, usando técnicas de geovisualização para exibir localizações de risco baseado nas leituras do sensor ultrassônico.

5.3.1 Aplicação Web

A aplicação *Web* utiliza a Linguagem de Marcação de Hipertexto (*HyperText Markup Language* - HTML), responsável pela forma como a página será exibida, e JavaScript, responsável pelo comportamento desse conteúdo. Além disso, utilizou-se também o AngularJS, um Framework para desenvolvimento do *front-end* que trabalha com dados focando na interação usuário-aplicação (SESHADRI; GREEN, 2014).

Após a recepção dos dados no formato JSON pela aplicação, as informações são plotadas em dois tipos de mapas diferentes: de marcador e de calor (Figura 23). Essa representação tem o objetivo de gerar informações enriquecidas a partir de dados provenientes dos sensores, permitindo conteúdos georeferenciados, que possibilitam potenciais análises.

Figura 23: Tipos de Mapas utilizados na aplicação *Web*.

(a) Mapa de Marcadores.



(b) Mapa de Calor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse tipo de visualização em mapas é chamado de geovisualização, uma técnica de coleta e processamento de dados espaciais. Esta técnica auxilia na

conversão de dados em informação, uma vez que possibilita que os dados coletados sejam enriquecidos com significado e interpretação (LONGLEY, 2012).

5.3.1.1 Mapa de Marcadores

Um exemplo de geovisualização é mostrado na Figura 23a, que mostra um mapa de marcadores. Nesse mapa, os marcadores são plotados de acordo com a localização do seu par de coordenadas. Usa-se o *web service* para fornecer dados JSON e representá-los no mapa para gerar informações enriquecidas a partir de dados provenientes do sensor.

5.3.1.2 Mapa de Calor

Em grande quantidade, a plotagem de muitos pontos no mapa de marcadores faz com que os pontos se sobreponham, deixando a visualização confusa. Uma maneira mais eficaz de se mostrar essa quantidade de pontos é por meio de um mapa de calor (*heat map*). A visualização nesse tipo de mapa consiste em um cálculo de densidade dos pontos em uma região do mapa. Depois, essa densidade é transformada em um gradiente de cores. Para o gradiente ser definido, utiliza-se a Equação 5.3, sendo esta capaz de determinar o valor na matriz de gradientes, com base no raio r informado em pixels, o menor ponto gráfico no espaço geográfico, de acordo com a resolução do mapa.

$$gradiente = \frac{TotalColetas}{r^2 \cdot \pi} \quad (5.3)$$

No que diz respeito ao gradiente de cores utilizadas, a Figura 23b mostra que a cor vermelha é aplicada para as áreas de maior intensidade e a cor verde para as de menor densidade. Os valores medianos são mostrados em amarelo, com uma transição de cores entre estes extremos.

Para a elaboração deste mapa foi utilizada a API Javascript do [Google Maps \(2017\)](#) que renderiza os dados do mapa de calor e funciona como uma camada sobreposta ao mapa padrão. Na Figura 23b, é possível observar que ao utilizar essa abordagem identifica-se mais facilmente as regiões do mapa com maior densidade de pontos. Os mapas mostrados nesse capítulo são metodologias que podem auxiliar o ciclista, aumentando a qualidade de vida e segurança pública.

Além disso, os resultados do presente trabalho podem incentivar a prática de esportes como atividade segura que promove saúde e inclusão, já que os ciclistas têm que disputar o espaço com os automóveis na vias na ausência de ciclovias. A imprudência tanto por parte dos motoristas quanto dos ciclistas são alguns dos fatores

que causam acidentes no trânsito.

A visualização das localidades onde identificou-se parâmetros de risco para o ciclista facilita na tomada de decisão de gestores municipais, evidenciando áreas que necessitam de sinalização ou ciclovias. Esses critérios podem servir não apenas para a escolha de um local para aplicação de uma ciclovia ou ciclofaixa, como também para identificar áreas de grande tráfego de ciclistas.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma abordagem para visualização de dados obtidos através do sensoriamento de bicicletas. Esse sensoriamento é feito através de um protótipo com o intuito de identificar situações de risco em relação à proximidade dos ciclistas a veículos na sua traseira. Após isso, por meio de um BD em nuvem que disponibiliza essa dados por um *web service*, são gerados mapas de marcadores e mapas de calor em uma aplicação *web*, como forma de visualização dessas informações georreferenciadas. Os mapas mostrados são recursos que podem auxiliar o ciclista e a gestão pública, aumentando a qualidade de vida e segurança no trânsito. A abordagem de visualização utilizada permite a aplicação desses resultados em diversos contextos, como na busca de informações referentes ao tráfego, na sinalização de rotas de risco ou ainda na implantação de ciclovias em lugares adequados.

Para a elaboração desse trabalho foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre estudos dentro da perspectiva de IoT, evidenciando que, nos dias de hoje, a IoT tem uma aplicabilidade vasta nos cenários de cidades inteligentes. Nesse sentido, essa proposta é um exemplo da grande quantidade de aplicações que possibilita a melhoria da mobilidade urbana, tornando os serviços mais acessíveis, interativos e eficientes.

Como trabalhos futuros, um grande desafio é a supervisão do consumo elétrico e a otimização da eficiência energética na Camada de Aquisição. Esse ponto já é estudado por [Gomez et al. \(2012\)](#), mostrando técnicas de melhoria no consumo de energia. Assim, tanto o *hardware* quanto o *software* devem funcionar estendendo ao máximo a vida útil dos componentes da proposta acoplados na bicicleta. Além disso, em relação à aplicação *web*, pretende-se incluir a funcionalidade de filtros temporais nos mapas, de modo que seja possível a visualização de informações espaço-temporais e relacionar as informações de proximidade com outros indicadores, como tráfego, horários de pico, etc.

REFERÊNCIAS

- AL-FUQAHA, A. et al. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, Fourthquarter 2015. ISSN 1553-877X. Citado na página 18.
- ALAM, M. R.; REAZ, M. B. I.; ALI, M. A. M. A Review of Smart Homes - Past, Present, and Future. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, v. 42, n. 6, p. 1190–1203, 2012. ISSN 1094-6977. Citado na página 13.
- ARSANJANI, J. J. et al. *OpenStreetMap in GIScienc. Experiences, Research, and Applications*. 1. ed. [S.l.]: Springer International Publishing, 2015. ISBN 978-3-319-14279-1. Citado na página 32.
- ASHTON, K. That "Internet of Things" thing. *RFID Journal*, v. 22, n. 7, p. 97–114, 2009. Citado na página 18.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. ISSN 1389-1286. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001568>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 20.
- AVELAR, E. et al. Interoperability issues on heterogeneous wireless communication for smart cities. *Computer Communications*, v. 58, p. 4 – 15, 2015. ISSN 0140-3664. Special Issue on Networking and Communications for Smart Cities. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366414002485>>. Citado na página 24.
- BALES, E. et al. Citisense: Mobile air quality sensing for individuals and communities design and deployment of the citisense mobile air-quality system. In: *2012 6th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) and Workshops*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 155–158. ISSN 2153-1633. Citado na página 24.
- BARRETO, C. G. L. *Sistema de Monitoramento de Bicicletas Urbanas*. 2016. Monografia (Bacharel em Engenharia de Software), UFC (Universidade Federal do Ceará), Quixadá, Brasil. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/000032-/000032cd.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 8, 29 e 30.
- BIBRI, S. E.; KROGSTIE, J. On the social shaping dimensions of smart sustainable cities: A study in science, technology, and society. *Sustainable Cities and Society*, p. –, 2016. ISSN 2210-6707. Citado na página 25.
- BRAGA, R. B. *LIDU : Location-based approach to IDentify similar interests between Users in social networks*. Tese (Doutorado) — Université de Grenoble, out. 2012. Disponível em: <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00771457>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.

CAI, H. et al. IoT-based big data storage systems in cloud computing: Perspectives and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 4, n. 1, p. 75–87, Feb 2017. ISSN 2327-4662. Citado na página 19.

CEET. *Centre for Energy-Efficient Telecommunications Report 2011-2016*. 2016. Citado na página 13.

CORREA, R.; CUNHA, K. B. da; BOARETO, R. *A bicicleta e as cidades: como inserir a bicicleta na política de mobilidade urbana*. 2. ed. Instituto de energia e meio ambiente, 2010. ISBN 978-85-63187-02-4. Disponível em: <<http://www.energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/09/A-bicicleta-e-as-cidades.pdf>>. Citado na página 15.

COSTANZO, D.; CALLIL, V. *Perfil de quem usa bicicleta na cidade de São Paulo*. Centro Brasileiro de Análise e Planejamento, 2017. Disponível em: <<http://cebrap.org.br/wp-content/uploads/2017/05/Contagem-de-Ciclistas-da-Rua-da-Consolação-Maio-2017.pdf>>. Citado na página 15.

CRUZ, P. et al. SensingBus: um Sistema de Sensoriamento Baseado em Onibus Urbanos. In: *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - SBRC 2017*. [s.n.], 2017. p. 1201–1208. ISSN 2177-496X. Disponível em: <<http://sbrc2017.ufpa.br/wp-content/uploads/2017/05/proceedingsSBRC2017.pdf>>. Citado na página 28.

DIAZ-DIAZ, R.; MUNOZ, L.; PEREZ-GONZALEZ, D. The business model evaluation tool for smart cities: Application to smartsantander use cases. v. 10, n. 262, p. 1–30, 02 2017. Citado na página 24.

DOMINGO, M. C. An overview of the internet of things for people with disabilities. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 35, n. 2, p. 584–596, 2012. ISSN 1084-8045. Simulation and Testbeds. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804511002025>>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

DONG, W. et al. Mosaic: Towards city scale sensing with mobile sensor networks. In: *2015 IEEE 21st International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 29–36. Citado na página 28.

ECMA-404. *The JSON Data Interchange Syntax*. 2017. <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>. Accessed: 2018-03-22. Citado na página 46.

FILIPPONI, L. et al. Smart city: An event driven architecture for monitoring public spaces with heterogeneous sensors. In: *2010 Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 281–286. Citado na página 24.

FISHER, A. *Melhores práticas para desenvolvimento de IoT*. 2015. IBM DeveloperWorks em www.ibm.com/developerWorks/br/. Disponível em: <<http://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mobile-practices-iot-success/>>. Citado na página 35.

- G. Santucci e S. Lang. *Internet of Things in 2020: A Roadmap for the future*. [S.l.], 2008. Info D.4 Networked Enterprise & RFID Info G.2 Micro & Nanosystems in co-operation with the RFID Working group of the European Technology Platform on Smart Systems Integration (EPoSS). Citado na página 19.
- GALDINO, I. M. et al. Uma solução de baixo custo para acessibilidade e segurança de ciclistas surdos no trânsito urbano. In: *Anais do XI Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação*. [S.l.: s.n.], 2016. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 38.
- GARTNER. *Hype Cycle for the Internet of Things*. 2016. Disponível em: <<http://www.gartner.com/SmarterWithGartner>>. Citado 3 vezes nas páginas 13, 18 e 19.
- GEORGESCU, M.; POPESCU, D. The importance of internet of things security for smart cities. In: SILVA, I. N. D.; FLAUZINO, R. A. (Ed.). *Smart Cities Technologies*. Rijeka: InTech, 2016. cap. 01. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5772/65206>>. Citado na página 23.
- GHARAIBEH, A. et al. Smart cities: A survey on data management, security, and enabling technologies. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 19, n. 4, p. 2456–2501, Fourthquarter 2017. Citado na página 22.
- GOMEZ, K. et al. Energino: A hardware and software solution for energy consumption monitoring. In: *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt), 2012 10th International Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 311–317. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 49.
- GOMEZ-MARTINEZ, E.; FERNANDEZ-DIAZ, A. Embedded systems for people with special needs: Insights from a real case. In: *40th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 431–436. ISSN 1089-6503. Citado na página 27.
- Google Maps. *Camada de mapa de calor*. 2017. Disponível em: <<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/heatmaplayer?hl=pt-br>>. Citado na página 47.
- GUBBI, J. et al. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013. ISSN 0167-739X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241>>. Citado 3 vezes nas páginas 13, 22 e 36.
- HAMMI, B. et al. IOT technologies for smart cities. *IET Networks*, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2018. ISSN 2047-4954. Citado na página 14.
- HOWITT, I.; GUTIERREZ, J. A. IEEE 802.15.4 low rate - wireless personal area network coexistence issues. In: *2003 IEEE Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 3, p. 1481–1486 vol.3. ISSN 1525-3511. Citado na página 42.
- IBOPE. *Pesquisa de Opinião Pública sobre o dia mundial sem carro*. 2012. Disponível em: <<http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/arquivos/RelatoriodelasDMSC2012.pdf>>. Citado na página 15.

- JACOBSEN, P. L. Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury Prevention*, v. 9, 2003. Citado na página 25.
- JIANG, X. et al. An architecture for energy management in wireless sensor networks. *SIGBED Rev.*, ACM, New York, NY, USA, v. 4, n. 3, p. 31–36, 2007. ISSN 1551-3688. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1317103.1317109>>. Citado na página 35.
- JIN, X. et al. Significance and challenges of big data research. *Big Data Res.*, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 2, n. 2, p. 59–64, jun. 2015. ISSN 2214-5796. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bdr.2015.01.006>>. Citado na página 36.
- KOSHIZUKA, N.; SAKAMURA, K. Ubiquitous id: Standards for ubiquitous computing and the internet of things. *IEEE Pervasive Computing*, v. 9, n. 4, p. 98–101, October 2010. ISSN 1536-1268. Citado na página 19.
- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. *Computer Networking: a Top-Down Approach*. 7. ed. [S.l.]: Pearson, 2017. Citado na página 19.
- LECHETA, R. R. *Web Services Restful: Aprenda a Criar Web Services Restful Em Java na Nuvem do Google*. [S.l.]: Novatec, 2015. Citado na página 36.
- LEE, I.; LEE, K. The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, v. 58, n. 4, p. 431 – 440, 2015. ISSN 0007-6813. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681315000373>>. Citado na página 37.
- LIN, J. et al. A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, PP, n. 99, p. 1–1, 2017. ISSN 2327-4662. Citado na página 19.
- LIU, X. et al. A bicycle-borne sensor for monitoring air pollution near roadways. In: *2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 166–167. Citado na página 28.
- LONGLEY, P. A. *Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*. 3. ed. [S.l.]: Bookman, 2012. Citado na página 47.
- LONGLEY, P. A. et al. *Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*. [S.l.]: Bookman, 2013. Citado na página 14.
- LOUREIRO, A. A. et al. Redes de Sensores Sem Fio. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, p. 179–226, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 18, 20 e 35.
- MARJOVI, A.; ARFIRE, A.; MARTINOLI, A. High resolution air pollution maps in urban environments using mobile sensor networks. In: *2015 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 11–20. ISSN 2325-2936. Citado na página 28.
- MEDINA, C. A.; PEREZ, M. R.; TRUJILLO, L. C. Iot paradigm into the smart city vision: A survey. In: *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical*

and Social Computing (CPSCoM) and IEEE Smart Data (SmartData). [S.l.: s.n.], 2017. p. 695–704. Citado na página 22.

MILLER, B. A.; BISDIKIAN, C. *Bluetooth Revealed: The Insider's Guide to an Open Specification for Global Wireless Communication*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2001. ISBN 0-13-090294-2. Citado na página 42.

MISRA, G. et al. Internet of Things (IoT) - A Technological Analysis and Survey on Vision, Concepts, Challenges, Innovation Directions, Technologies, and Applications. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, Science and Education Publishing, v. 4, n. 1, p. 23–32, 2016. ISSN 2328-7357. Disponível em: <<http://pubs.sciepub.com/ajeer/4/1/4>>. Citado na página 19.

MULAY, A. *Sustaining Moore's Law: Uncertainty Leading to a Certainty of IoT Revolution*. Morgan and Claypool, 2015. 109 p. ISBN 9781627058117. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7302711>>. Citado na página 13.

NAMBIAR, R.; SHROFF, R.; HANDY, S. Smart cities: Challenges and opportunities. In: *2018 10th International Conference on Communication Systems Networks (COMSNETS)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 243–250. Citado na página 14.

NETO, M. C. M. Desenvolvimento de aplicações ubíquas com arduino e raspberry pi. In: *Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–30. ISSN 1089-6503. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 35.

OIKONOMOU, G. et al. *Advanced techniques to increase the lifetime of smart objects and ensure low power network operation*. Technical Report of RERUM by UNIVBRIS, 2015. Disponível em: <<http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/4/609094/080-/deliverables/001-RERUMdeliverableD42Ares20153669911.pdf>>. Citado na página 35.

PELLICER, S. et al. A global perspective of smart cities: A survey. In: *2013 Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 439–444. Citado na página 23.

PERERA, T. D. P. et al. Wireless information and power transfer: Issues, advances, and challenges. In: *2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–7. Citado na página 22.

PETERSON, L. L.; DAVIE, B. S. *Computer Networks*. 4. ed. [S.l.]: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2002. Citado na página 19.

RAGGETT, D. The web of things: Challenges and opportunities. *Computer*, v. 48, n. 5, p. 26–32, May 2015. ISSN 0018-9162. Citado na página 19.

RANDHAWA, A.; KUMAR, A. Exploring sustainability of smart development initiatives in india. *International Journal of Sustainable Built Environment*, v. 6, n. 2, p. 701 – 710, 2017. ISSN 2212-6090. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609017300742>>. Citado na página 23.

RUIZ, L. B. et al. *Arquitetura para redes de sensores sem fio*. [s.n.], 2004. Disponível em: <<http://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/publications/04mc-sbrc.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 35.

- SANCHEZ, L. et al. Smartsantander: Experimentation and service provision in the smart city. In: *2013 16th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1–6. ISSN 1347-6890. Citado na página 24.
- SANTOS, B. P. et al. *Internet das Coisas: da Teoria à Prática*. Minicursos do XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016. 1-50 p. ISBN 2177-4978. Disponível em: <<http://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>>. Citado 5 vezes nas páginas 13, 18, 21, 22 e 26.
- SANTOS, P. M. et al. Portolivinglab: an iot-based sensing platform for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, PP, n. 99, p. 1–1, 2018. Citado na página 24.
- SARWESH, P.; SHET, N. S. V.; CHANDRASEKARAN, K. Energy efficient and reliable network design to improve lifetime of low power iot networks. In: *2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 117–122. Citado na página 22.
- SESHADRI, S.; GREEN, B. *Aumento de produtividade com aplicações Web estruturadas*. 1. ed. [S.l.]: Novatec, 2014. Citado na página 46.
- SIMCOM. *SIM808 Hardware Design Version 1.01*. 2014. SIMCom Wireless Solution Limited's Realease. Disponível em: <http://www.sabreadv.com/wp-content/uploads/SIM808_Hardware-Design_V1.01.pdf>. Citado na página 30.
- SOUZA, L. C.; GOMES, E. T. A. O uso da bicicleta como meio de transporte: Mobilidade urbana na cidade do recife. In: *Anais do I Congresso Brasileiro de Geografia Política, Geopolítica e Gestão do Território*. Letra1, 2014. p. 384–395. ISSN 978-85-63800-17-6. Disponível em: <<http://www.editora letra1.com/anais-congeio/arquivos/978-85-63800-17-6-p384-395.pdf>>. Citado na página 15.
- STRAUSS, J.; MIRANDA-MORENO, L. F.; MORENCY, P. Mapping cyclist activity and injury risk in a network combining smartphone {GPS} data and bicycle counts. *Accident Analysis and Prevention*, v. 83, p. 132 – 142, 2015. ISSN 0001-4575. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457515300233>>. Citado na página 25.
- TANENBAUM, A. S. *Computer Networks, Fifth Edition: A Systems Approach*. 5. ed. San Francisco, CA, USA: Prentice Hall Professional Technical Reference, 2011. Citado na página 19.
- TORRES, S. et al. Becity: sensing and sensibility on urban cycling for smarter cities. In: *2015 34th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–4. Citado 3 vezes nas páginas 28, 29 e 30.
- VAGNOLI, C. et al. The SensorWebBike for air quality monitoring in a Smart City. In: *IET Conference on Future Intelligent Cities*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–4. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 30.
- VIANA, J. D. F.; BRAGA, R. B.; OLIVEIRA, C. T. DeMAiS: a Decision-Making solution to enhance Accessibility of deaf cyclists in urban traffic Scenarios. In: *Proceedings of*

4th Internacional Workshop on ADVANCEs in ICT Infrastructures and Services. [S.l.: s.n.], 2015. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 34.

VIANA, J. D. F. et al. A brief study on cycling technologies. In: *Proceedings of 5th Internacional Workshop on ADVANCEs in ICT Infrastructures and Services*. [S.l.: s.n.], 2017. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 30.

VIANA, J. D. F. et al. A visualization and analysis approach of cyclist data obtained through sensors. In: *Proceedings of IEEE Summer School on Smart Cities (IEEE S3C)*. [S.l.: s.n.], 2017. v. 1, p. 13–18. Citado 4 vezes nas páginas 16, 35, 37 e 38.

WANT, R.; SCHILIT, B. N.; JENSON, S. Enabling the internet of things. *Computer*, v. 48, n. 1, p. 28–35, Jan 2015. ISSN 0018-9162. Citado na página 19.

ZANELLA, A. et al. Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 1, n. 1, p. 22–32, Feb 2014. ISSN 2327-4662. Citado na página 14.

ZHUHADAR, L. et al. The next wave of innovation — review of smart cities intelligent operation systems. *Computers in Human Behavior*, v. 66, p. 273 – 281, 2017. ISSN 0747-5632. Citado na página 25.

ZOYSA, K. D. et al. A public transport system based sensor network for road surface condition monitoring. In: *Proceedings of the 2007 Workshop on Networked Systems for Developing Regions*. New York, NY, USA: ACM, 2007. (NSDR '07), p. 9:1–9:6. ISBN 978-1-59593-787-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1326571.1326585>>. Citado na página 28.