

Diogo Carlos Paganini Domingos

**Uma Avaliação de Plataformas de Software para  
Cidades Inteligentes em Cenários de Mobilidade  
Urbana**

Cascavel-PR

2022



Diogo Carlos Paganini Domingos

## **Uma Avaliação de Plataformas de Software para Cidades Inteligentes em Cenários de Mobilidade Urbana**

Projeto de dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGComp) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, campus de Cascavel.

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste – Cascavel

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – CCET

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação – PPGComp

Orientador: Dr. Edson Tavares de Camargo

Coorientador: Dr. Wesley Klewerton Guêz Assunção

Cascavel-PR

2022

# Resumo

DOMINGOS, Diogo Carlos Paganini. **Uma Avaliação de Plataformas de Software para Cidades Inteligentes em Cenários de Mobilidade Urbana.** Orientador: Dr. Edson Tavares de Camargo. 2022. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – Paraná, 2022.

O conceito de Cidades Inteligentes pode ser definido pelo emprego de Tecnologias da Informação e Comunicação para melhorar o desenvolvimento urbano, econômico, governança da cidade e a qualidade de vida social de sua população. O avanço tecnológico de dispositivos portáteis e embarcados, sensores, conectividade, poder de processamento e armazenamento, possibilitou o monitoramento das atividades, elementos e ambientes da cidade. Porém, diversos desafios como o grande volume de dados, dispositivos, conexões, além de pontos críticos como segurança, privacidade e interoperabilidade exigem arquiteturas de software adequadas e plataformas robustas para construir aplicações para Cidades Inteligentes. Uma das áreas que mais demandam capacidade e desempenho computacional nas cidades inteligentes é a mobilidade inteligente, que rastreia uma grande quantidade de dispositivos heterogêneos com o envio de diferentes dados em grande quantidade. Desta forma, esta pesquisa busca avaliar plataformas de software abertas e gratuitas para a implantação do conceito de cidade inteligente no contexto de mobilidade inteligente. Para atingir estes objetivos será realizada a revisão bibliográfica sobre Cidades Inteligentes, suas tecnologias habilitadoras, aplicações e plataformas. Também é prevista a implantação de plataformas e a implementação de aplicações *mobile* para integração, operação e avaliação das plataformas em ambiente real. Com isso, espera-se contribuir com a área disponibilizando resultados qualitativos e quantitativos para auxiliar a adoção de plataformas e o desenvolvimento de aplicações para Cidades Inteligentes na cidade de Toledo/PR, onde há uma cooperação entre a Universidade e o Município. Além disso, espera-se gerar suporte para a melhoria na qualidade de vida da sociedade na cidade que será implantada a plataforma.

**Palavras-chave:** Cidades Inteligentes, Plataformas de Software, Arquiteturas de Software, Internet das Coisas

# Abstract

DOMINGOS, Diogo Carlos Paganini. **Evaluation of Smart Cities Software Platforms in Urban Mobility Scenarios.** Orientador: Dr. Edson Tavares de Camargo. 2022. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – Paraná, 2022.

The concept of Smart Cities can be defined by the use of Information and Communication Technologies to improve urban and economic development, city governance and the quality of social life of its population. The technological advancement of portable and embedded devices, sensors, connectivity, processing power and storage, made it possible to monitor the activities, elements and environments of the city. However, several challenges such as the large volume of data, devices, connections, as well as critical points such as security, privacy and interoperability require adequate software architectures and robust platforms to build applications for Smart Cities. One of the areas that most demand capacity and computational performance in smart cities is smart mobility, which tracks a large number of heterogeneous devices by sending different data in large amounts. In this way, this research seeks to evaluate open and free software platforms for the implementation of the smart city concept in the context of smart mobility. To achieve these goals, a bibliographic review will be carried out on Smart Cities, their enabling technologies, applications and platforms. The deploy of three platforms and the implementation of a mobile application are also planned for the integration, operation and evaluation of the platforms in a real environment. With this, it is expected to contribute to the area by providing qualitative and quantitative results to help the adoption of platforms and the development of applications for Smart Cities in the city of Toledo/PR, where there is cooperation between the University and the Municipality. In addition, it is expected to generate support for improving the quality of life of society in the city where the platform will be implemented.

**Keywords:** Smart Cities, Software Platforms, Software Architectures, Internet of Things



# **Lista de ilustrações**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Arquitetura de referência para plataformas de cidades inteligentes proposta por Santana et al. (2017) . . . . . | 19 |
| Figura 2 – Arquitetura da plataforma da cidade de Escópia, Macedônia . . . . .   | 23 |
| Figura 3 – Arquitetura da plataforma DIMMER . . . . .  | 24 |
| Figura 4 – Arquitetura da plataforma CiDAP . . . . .   | 25 |
| Figura 5 – Arquitetura da plataforma Intercity . . . . .   | 26 |
| Figura 6 – Arquitetura da plataforma Fiware . . . . .  | 27 |
| Figura 7 – Arquitetura da plataforma Sentilo . . . . .   | 28 |
| Figura 8 – Atividades de pesquisa . . . . .  | 34 |
| Figura 9 – Página inicial do catálogo web do Sentilo . . . . .   | 39 |
| Figura 10 – Página de gerenciamento de componentes no catálogo web da Sentilo .  | 41 |
| Figura 11 – Tela de autenticação e tela inicial da aplicação móvel . . . . .   | 42 |
| Figura 12 – Lista e cadastro de dispositivos da plataforma . . . . .   | 44 |
| Figura 13 – Rastreamento e lista de registros de geolocalização . . . . .  | 45 |
| Figura 14 – Tela de configuração e ajustes de geolocalização . . . . .   | 46 |



# Sumário

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1.1</b> | <b>Objetivos</b>  | <b>12</b> |
| 1.1.1      | Objetivos Gerais  | 12        |
| 1.1.2      | Objetivos Específicos   | 12        |
| 1.1.3      | Justificativa   | 12        |
| <b>2</b>   | <b>REVISÃO DA LITERATURA</b>  | <b>15</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Cidades Inteligentes</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Internet das Coisas para Cidades Inteligentes</b>                        | <b>17</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Arquiteturas de Software para Cidades Inteligentes</b>                   | <b>17</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Plataformas de Software para Cidades Inteligentes</b>                    | <b>19</b> |
| 2.4.1      | Requisitos para plataformas de cidades inteligentes                         | 20        |
| 2.4.2      | Plataformas e Arquiteturas Na Literatura                                    | 22        |
| 2.4.2.1    | Plataforma da cidade de Escópia, Macedônia                                  | 22        |
| 2.4.2.2    | DIMMER  | 23        |
| 2.4.2.3    | CiDAP   | 24        |
| 2.4.2.4    | InterSCity  | 25        |
| 2.4.2.5    | FIWARE  | 26        |
| 2.4.2.6    | Sentilo   | 27        |
| <b>2.5</b> | <b>Mobilidade Inteligente</b>   | <b>28</b> |
| <b>3</b>   | <b>TRABALHO PROPOSTO</b>  | <b>31</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Objetivos e Questão de Pesquisa</b>                                      | <b>31</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Metodologia</b>  | <b>31</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Atividades</b>   | <b>32</b> |
| 3.3.1      | Revisão da literatura   | 32        |
| 3.3.2      | Levantamento de iniciativas, arquiteturas e plataformas                     | 33        |
| 3.3.3      | Implantação das plataformas selecionadas                                    | 33        |
| 3.3.4      | Desenvolvimento de aplicação integrada a plataforma                         | 35        |
| 3.3.5      | Disponibilização da aplicação e plataforma para o cenário de estudo de caso | 35        |
| 3.3.6      | Avaliação das plataformas   | 35        |
| <b>3.4</b> | <b>Cronograma</b>   | <b>36</b> |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS PRELIMINARES</b>  | <b>37</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Implantação da Plataforma de Software</b>                                | <b>37</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Plataforma InterSCity</b>  | <b>38</b> |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.3 | <b>Plataforma Sentilo . . . . .</b>  | 38 |
| 4.4 | <b>Aplicação para o cenário de Mobilidade integrada a Plataforma de Software para cidades inteligentes . . . . .</b> | 42 |
| 5   | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>  | 47 |
|     | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>   | 49 |

# 1 Introdução

O crescimento das cidades e suas populações, as mudanças decorrentes da globalização e os desafios climáticos exigem que os governantes atuem de forma dinâmica e rápida. Como consequência deste constante crescimento, também influenciado pela mudança da população rural para urbana, surgem novos tipos de problemas técnicos, físicos e materiais, como infra-estrutura, gerenciamento de resíduos, poluição, etc. Constantemente os governantes precisam revisar planejamentos, atualizar as metas da cidade e reconstruir infra-estrutura física. A complexidade das cidades e seus problemas de consumo, de transporte, ambientais e econômicos precisam de uma política eficiente não só na infra-estrutura física, mas também de ordem institucional. Esta ordem é composta de rotinas, normas e regras que são adotadas para aliviar e solucionar os problemas gerados pelo crescimento das cidades (JOHNSON, 2008). O crescimento populacional urbano também causam problemas complexos em áreas sociais e organizacionais pois normalmente trazem complexidade política, um alto número de sujeitos envolvidos e seus objetivos e valores muitas vezes conflitantes (CHOURABI et al., 2012).

Os desafios impostos pelo crescimento urbano exigem que as cidades encontrem novas formas de resolver problemas e busquem soluções a longo prazo que possibilitem transporte interligado, uso misto de terras e serviços urbanos de qualidade. A interdependência dos serviços e componentes urbanos fazem com que esta busca por grandes melhorias e serviços urbanos de alta qualidade, criem efeitos na economia e também possam beneficiar diretamente o cidadão. Por exemplo um melhor transporte público atende a necessidades econômicas mas também reflete diretamente no crescimento das cidades, por conectar os trabalhadores com as indústrias (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015).

Com os diversos desafios em aprimorar a eficiência e funcionamento das cidades, a ideia de juntar tecnologias de informação e comunicação em operação para dar um melhor suporte a solução de problemas urbanos se tornou mais interessante. A maior parte das tecnologias já existentes nas cidades são isoladas, frequentemente possuem clara relação em suas operações e necessitam ser integradas para trazer novas oportunidades de melhorias no ambiente urbano (BATTY et al., 2012).

Com iniciativas de atender essa demanda de um melhor gerenciamento urbano com o uso de tecnologias disponíveis, surgiu o conceito de “*Smart Cities*” ou Cidades Inteligentes, uma forma de desenvolvimento urbano orientado a Tecnologia da Informação e Comunicação (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015).

O recente avanço tecnológico de dispositivos portáteis e embarcados, sensores, conectividade sem fio e de longo alcance somado a evolução computacional, o crescimento

do poder de processamento e o armazenamento de dados, possibilitou de forma ampla o monitoramento das atividades, elementos e ambientes da cidade (NAVIA; VANESSA et al., 2016). Esse amplo monitoramento da cidade permite transformar as informações do cotidiano urbano em dados concretos de grande valor, volume e importância e assim consequentemente aumenta a relevância do desenvolvimento de software eficaz, da infraestrutura digital adequada e de um bom gerenciamento dos dados urbanos na governança das cidades (BARNS, 2018).

A utilização de dispositivos e conectividade para o monitoramento da cidade, em grande parte se apoia no conceito de Internet das Coisas. A Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) se refere a interconexão entre objetos do cotidiano equipados com dispositivos com capacidade de processamento e inteligência ubíqua (XIA et al., 2012). A Internet das Coisas aplicada sobre o ambiente urbano pode trazer inúmeros benefícios aos serviços como transporte, iluminação e segurança pública, com a disponibilização da informação coletada na cidade para se realizarem análises e explorações em busca de um melhor entendimento dos cenários complexos, além de um aumento da transparência das ações governamentais à sociedade (ZANELLA et al., 2014).

Sistemas de software sujeitos a crescimento em tamanho e complexidade, como os que almejam compor iniciativas de cidades inteligentes, tendem a enfrentar problemas críticos de design, organização e análise do sistema em geral. A arquitetura de software geralmente é definida como uma descrição geral da estrutura de um sistema, usando uma ou mais visões que apresentam decisões de design como a interação das partes do sistema e como estas o compõem, assim como as propriedades fundamentais de cada componente, atuando tipicamente como uma ponte entre requisitos de software e código. A estrutura de um sistema bem desenhada é um fator essencial para o desenvolvimento de sistemas complexos por auxiliar sistemas a garantirem o cumprimento de requisitos de áreas como desempenho, portabilidade, escalabilidade, confiabilidade e interoperabilidade (GARLAN, 2008).

Grandes sistemas de software como os projetados para cidades inteligentes, podem se beneficiar do uso de plataformas de software. Plataformas de software são elementos centrais em ecossistemas de software e incentiva práticas de desenvolvimento que auxiliem a colaboração entre desenvolvedores, melhorando a eficiência do processo de desenvolvimento, possibilitando uma maior entrega de valor da plataforma, gerando sustentabilidade da plataforma (GUSMÃO et al., 2016).

Uma das áreas que as cidades inteligentes tentam resolver problemas é no âmbito de transporte e mobilidade, decorrente ao massivo tráfego de veículos em grandes centros urbanos, gerando congestionamentos e poluição do ar. Para isto, a mobilidade inteligente é um conceito vinculado a cidades inteligentes e busca utilizar a tecnologia da comunicação e informação em modernas tecnologias de transporte para melhorar o tráfego urbano

---

e disponibilizar sistemas de transporte modernos, seguros e sustentáveis (FARIA et al., 2017).

A mobilidade é uma das áreas mais importantes e complexas em uma iniciativa de cidade inteligente e as pessoas enxergam a mobilidade como um aspecto chave da qualidade de vida no ambiente urbano. O planejamento de ações voltadas ao setor de transporte urbano devem ter os cidadãos como ponto focal em busca de melhoria da saúde e qualidade de vida (BENEVOLO; DAMERI; D'AURIA, 2016).

Vários autores elencam os desafios no contexto de mobilidade inteligente e muitos se referem a desafios relacionados tecnologias habilitadoras pertencente a tecnologia da informação e comunicação.

No nosso trabalho, mobilidade inteligente representa a área das cidades inteligentes responsável por otimizar questões de qualidade de vida da sociedade que dizem respeito a tráfego, deslocamento e transporte no ambiente urbano (BENEVOLO; DAMERI; D'AURIA, 2016), seus impactos ambientais e econômicos (BATTY et al., 2012), com o uso de tecnologias como sensoriamento remoto, monitoramento em tempo real e dispositivos conectados (BADII et al., 2019).

A segurança e privacidade é um dos maiores desafios na mobilidade inteligente em razão da necessidade de proteger as informações, serviços e aplicações de ataques e prevenir o acesso não autorizado a dados não públicos, além da tarefa de proteger a privacidade apesar do ambiente complexo de compartilhamento de dados entre dispositivos (PAIVA et al., 2021; WENGE et al., 2014).

Padrões também são incluído como um desafio significativo na mobilidade inteligente no âmbito de tecnologias habilitadoras e da tecnologia da informação. A coleta e armazenamento de dados heterogêneos de diferentes dispositivos com diferentes protocolos de segurança e privacidade, passa a ser uma tarefa complexa para um sistema de larga escala em tempo real, portanto uma padronização em cenários como segurança, aplicação, ferramentas e protocolos, passa a ser altamente desejável (PAIVA et al., 2021; WENGE et al., 2014).

Estes diversos desafios em aberto na construção de soluções de software para os diferentes cenários e contextos de cidades inteligentes com o objetivo de aumentar a qualidade de vida da população, provendo tecnicamente suporte a um grande volume de dados e dispositivos previstos em uma iniciativa de cidade inteligente, contemplando também aspectos críticos como segurança, privacidade e confiabilidade, motivam a busca por plataformas de cidades inteligentes que atendam a uma variedade de requisitos (SILVA; KHAN; HAN, 2018).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivos Gerais

Este trabalho visa avaliar plataformas de software aberta e gratuita para apoiar a implementação do conceito de cidades inteligentes através de uma aplicação de mobilidade inteligente em uma área urbana.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar diferentes plataformas de software abertas e gratuitas de acordo com as seguintes métricas: escalabilidade, desempenho, extensibilidade, interoperabilidade, segurança, privacidade, configurabilidade, documentação, comunidade envolvida, ferramentas para apoiar visualização, consulta e manipulação dos dados.
- Implementar uma aplicação de mobilidade urbana voltada para cidade inteligente.
- Avaliar o suporte da plataforma para aplicações de monitoramento de objetos móveis em ambiente real.

### 1.1.3 Justificativa

O conceito de cidades inteligentes é relativamente novo e ainda existem diversos desafios para aplicar as tecnologias habilitadoras de cidades inteligentes. Garantir aspectos como segurança, privacidade e confiabilidade, permitir retrocompatibilidade e interoperabilidade, oferecendo escalabilidade e gerenciando a heterogeneidade e o volume de dados e de dispositivos, são alguns dos desafios em aberto mencionados ([ARASTEH et al., 2016](#); [NUAIMI et al., 2015](#); [AHAD et al., 2020](#); [KON; SANTANA, 2016](#)).

A implantação da Mobilidade Inteligente ou a adoção de aplicações com a finalidade de atender a aspectos de mobilidade são desafios no desenvolvimento de soluções em plataformas de software inteligentes ([CLEDOU; ESTEVEZ; BARBOSA, 2018](#)). Há falta de literatura revisada sobre iniciativas de mobilidade inteligente abordando tópicos como os desafios e problemas na integração de dados e desafios de padronização de dados e de interoperabilidade, dentre outros ([PAIVA et al., 2021](#)).

A implementação, configuração e utilização operacional efetiva na prática de plataformas de software para cidades inteligentes também não é frequentemente abordada em trabalhos, estando disponível a maior parte das informações relacionadas a estes aspectos apenas nas documentações das plataformas. A importância, complexidade e tamanho do sistema que uma plataforma de software deve suportar e apoiar, acaba por ressaltar a necessidade de saber de antemão o suporte e integração da plataforma a

ferramentas básicas, as possibilidade de expansão e sua aderência a requisitos comumente levados em consideração para implantação de cidades inteligentes.

A universidade UTFPR e a cidade de Toledo, no Paraná, possuem uma parceria para realizar a implementação de uma iniciativa de cidade inteligente com o planejamento de utilização de dispositivos de rastreamento de veículos, sendo a implantação de uma plataforma essencial para o completo desenvolvimento do projeto ([CAMARGO; SPANHOL; SOUZA, 2021](#); [ROSSATO; SPANHOL; CAMARGO, 2020](#)). A parceria ainda incluem projetos na área de monitoramento ambiental onde os dados necessitam ser armazenados e visualizados através de uma plataforma. A pesquisa deste projeto pretende contribuir com o projeto de cidade inteligente de Toledo com a implantação da plataforma de melhor resultado no ambiente real da cidade.



## 2 Revisão da Literatura

Este Capítulo apresenta conceitos relacionados a este trabalho. A seção 2.1 apresenta as definições e desafios das Cidades Inteligentes. A seção 2.2 aborda a Arquitetura de Software, adoção e construção de Arquiteturas de Referência a relaciona com as necessidades de Cidades Inteligentes. A seção 2.3 descreve o que é uma Plataforma de Software para Cidades Inteligentes, seus requisitos e apresenta plataformas encontradas na literatura. A seção 2.4 finaliza o capítulo, explicando sobre Mobilidade Inteligente, seus cenários e desafios.

### 2.1 Cidades Inteligentes

O termo Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) começou a aparecer lentamente nos anos 90, com a Tecnologia de Informação e Comunicação aparecendo como protagonista de apoio a infra-estruturas modernas nas cidades (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015), mas somente a partir do ano de 2010 é que um forte crescimento em pesquisa e desenvolvimento aconteceu. Isso ocorreu após a união europeia passar a utilizar o termo para qualificar iniciativas de sustentabilidade e ações no espaço urbano (DAMERI; COCCHIA, 2013).

As primeiras cidades a se auto denominarem cidades inteligentes, Adelaide na Austrália em 1994 e Cyberjaya na Malásia em 1997 iniciaram processos de busca por otimização e automação de infraestruturas urbanas, parte integrante dos objetivos de cidades inteligentes. A utilização das TIC'S para direcionar o funcionamento da cidade automatizando e otimizando seus processos as validaram como “*Smart*” (SÖDERSTRÖM; PAASCHE; KLAUSER, 2014).

Harrison et al. (2010) explica o conceito de cidades inteligentes dentro do projeto "Smarter Planet System" da IBM, uma das iniciativas empresariais pioneiras no desenvolvimento de soluções para cidades inteligentes. Apresenta o conceito envolvendo 3 características da tecnologia da informação: Instrumentalização, Interconectividade e Inteligência. A instrumentalização seria a capacidade de capturar e integrar dados do mundo real através do uso de tecnologia como sensores, dispositivos pessoais, etc. A Interconectividade prezava pela integração dos dados em uma plataforma que permitisse o compartilhamento dessa informação entre sistemas e vários outros serviços da cidade. A Inteligência por fim compreende a diferentes análises e serviços de visualização de dados que auxiliem a tomada de decisão.

A União Europeia e instituições internacionais consideram cidades inteligentes

como uma forma de desenvolvimento urbano orientado a tecnologia da informação, porém não apenas a qualidade e disponibilidade de infra-estrutura de tecnologia da informação e comunicação definem uma cidade inteligente. (CARAGLIU; BO; NIJKAMP, 2011).

De fato, o termo cidades inteligentes possui diversas definições e Neirotti et al. (2014) cita que não há uma unanimidade no significado do termo pois ele pode ser aplicado a diferentes domínios e níveis de tecnologias de informação e comunicação para políticas urbanas.

Uma definição para cidade inteligente amplamente usada é a de Hall et al. (2000):

*"A city that monitors and integrates conditions of all of its critical infrastructures, including roads, bridges, tunnels, rails, subways, airports, seaports, communications, water, power, even major buildings, can better optimize its resources, plan its preventive maintenance activities, and monitor security aspects while maximizing services to its citizens"*

"Uma cidade que monitora e integra as condições de todas as suas infraestruturas críticas, incluindo estradas, pontes, túneis, trilhos, metrôs, aeroportos, portos, comunicações, água, energia, até mesmo edifícios importantes, podem otimizar melhor seus recursos, planejar suas atividades de manutenção preventiva e monitorar os aspectos de segurança enquanto maximiza os serviços aos seus cidadãos".

Outra definição de cidade inteligente que pode complementar é a de Harrison et al. (2010):

*"A city connecting the physical infrastructure, the IT infrastructure, the social infrastructure, and the business infrastructure to leverage the collective intelligence of the city."*

"Uma cidade conectando a infraestrutura física, a infraestrutura de TI, a infraestrutura social e a infraestrutura de negócios para alavancar a inteligência coletiva da cidade."

Na literatura, vários estudos referem-se a cidades inteligentes e citam aspectos das cidades como a qualidade das pessoas e comunicação e das Tecnologias de Informação e Comunicação adotadas (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015), modelo de cidades em que a tecnologia está a serviço das pessoas, da melhora econômica e da qualidade de vida social (LAZAROIU; ROSCIA, 2012) e áreas urbanas ultramodernas com foco nas necessidades dos negócios, instituições e cidadãos (KHATOUN; ZEADALLY, 2016).

## 2.2 Internet das Coisas para Cidades Inteligentes

A Internet das Coisas é um conceito de presença pervasiva de uma grande variedade de objetos equipados com dispositivos eletrônicos como RFID, sensores, atuadores e transmissores se comunicando entre si com o uso de padrões em comum e da rede da internet para atingir objetivos e servir os usuários (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

A IoT possui papel fundamental nas iniciativas de cidades inteligentes, com a possibilidade de auxiliar no gerenciamento de serviços públicos em áreas como transporte, iluminação pública, monitoramento e manutenção de áreas públicas. Como a maioria dos serviços nas cidades inteligentes é centralizada, servidores de aplicação fazem parte do fluxo de comunicação de uma rede de Internet das Coisas para cidades inteligentes. Estes servidores coletam, armazenam e processam dados para produzir e adicionam valor a informações e serviços. Normalmente são compostos de sistemas de gerenciamento de bancos de dados, interfaces de usuário em páginas *web* para consumo por parte de autoridades, operadores, prestadores de serviço e cidadãos, e sistemas ERP (*Enterprise resource planning systems*) para a realização simplificada do gerenciamento de dados e dispositivos que compõem a rede IoT urbana (ZANELLA et al., 2014).

Os variados elementos que compõem estas redes IoT para cidades inteligentes trazem grande complexidade no desenvolvimento de sistemas de software possuindo diversos atores e desenvolvedores envolvidos. Grandes sistemas possuem problemas durante sua execução, crescimento e desenvolvimento quando não possuem uma estrutura arquitetural bem definida entre as partes, portanto a definição de uma arquitetura de software para as soluções propostas se torna essencial (GUSMÃO et al., 2016).

## 2.3 Arquiteturas de Software para Cidades Inteligentes

O conceito de Arquitetura de Software está diretamente ligado a aplicação que é desenvolvida, porém uma definição comumente adotada é que a Arquitetura de Software é a estrutura de um sistema computacional ou programa que abrange os elementos do software, seus relacionamento e suas propriedades externamente visíveis (PAIVA et al., 2021).

A arquitetura de software possui fundamental importância em grandes projetos de software e está no topo da pirâmide de soluções de software, buscando identificar as soluções e quais regras precisam ser definidas para a implementação da solução (TAYLOR; TAYLOR, 2021). As arquiteturas devem ser construídas levando em consideração alguns pontos chave como o objetivo de simplificar a compreensão de sistemas utilizando um nível adequado de abstração, suportar reuso de componentes e subsistemas e prover um plano parcial para o desenvolvimento da solução indicando componentes e dependências

(GARLAN, 2008).

Uma arquitetura de referência, se baseia em arquiteturas existentes para direcionar aspectos técnicos, de negócio e de contexto fornecendo informações para a criação ou evolução de novas arquiteturas e soluções de forma objetiva e compreensível (CLOUTIER et al., 2010). Estas estruturas acabam por apoiar a construção de software com modelos de arquitetura já utilizados e testados previamente em outros sistemas.

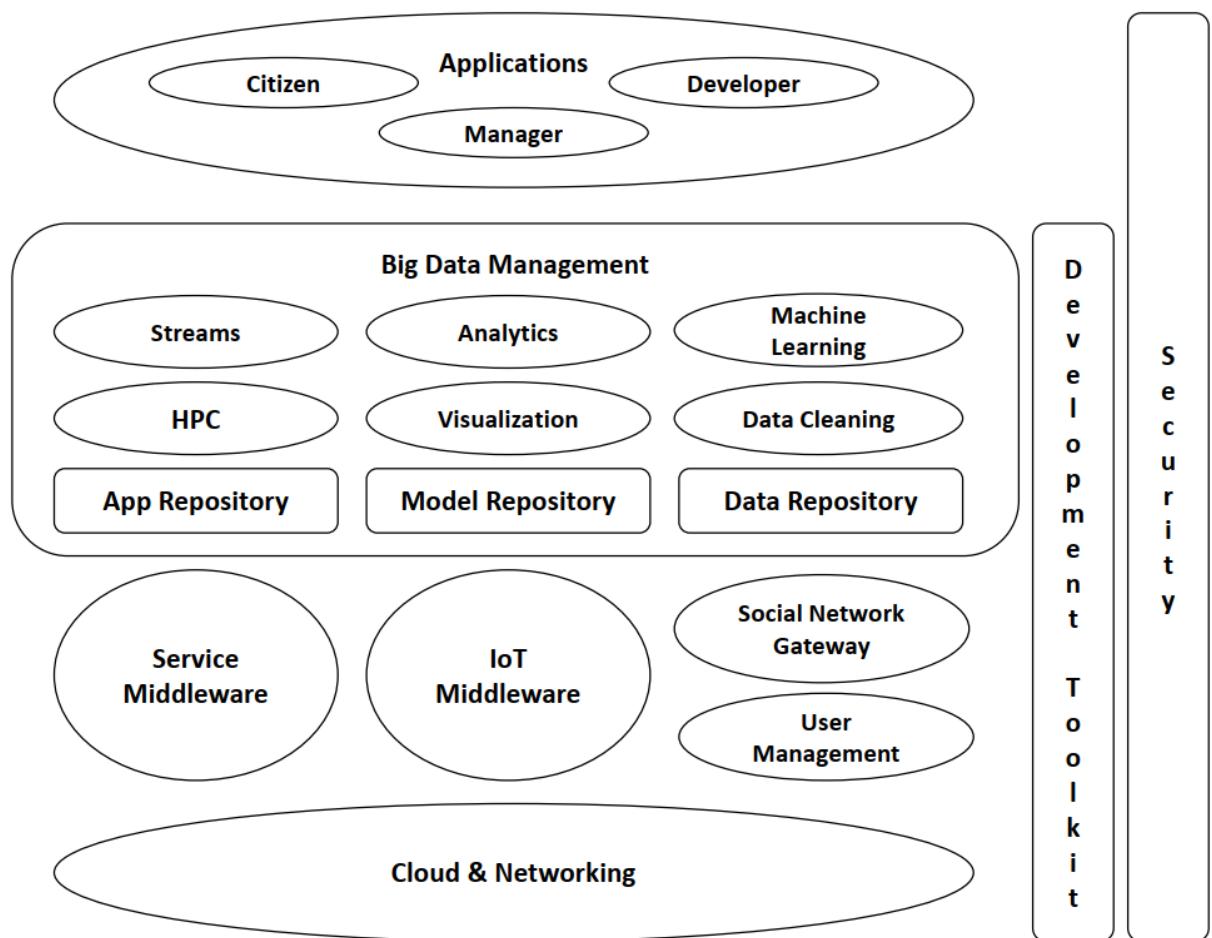
Um dos benefícios de utilizar arquiteturas de referência é reduzir os riscos através do uso de elementos pré-qualificados e aumentar a qualidade ao construir soluções corporativas robustas e escaláveis, além dos processos de apoio (LLOYD; GALAMBOS, 1999). As Arquiteturas de Referência também acabam por auxiliar na compreensão básica de princípios arquiteturais e de projeto de sistemas, facilitando o compartilhamento de conhecimento com uma comunicação específica do domínio arquitetural.

O reuso de conceitos e implementações, o controle de complexidade além da mitigação de riscos e entendimento comum utilizando padrões de arquitetura conhecidos, são boas práticas em definições de arquiteturas de referência, porém não há informações concretas de proposição de valor que justifiquem o custo de criar e manter Arquiteturas de Referência (CLOUTIER et al., 2010). Portanto a criação e manutenção de arquiteturas de referência são constantemente alvos para redução dos custos dos projetos, por demandar recursos críticos como tempo e arquitetos de software.

Após analisar 23 projetos de cidades inteligentes e suas tecnologias, requisitos funcionais e não-funcionais, Santana et al. (2017) propôs uma arquitetura de referência para plataformas para cidades inteligentes. Analisaram as tecnologias habilitadoras, os requisitos encontrados e os desafios e problemas de pesquisa em aberto. Com essas informações, abordaram as arquiteturas de duas plataformas disponíveis na literatura: CiDAP e OpenIoT, adicionaram melhorias necessárias levantadas na etapa anterior e propuseram uma arquitetura de referência.

Na base da arquitetura proposta, se encontra a camada de Rede e Nuvem, responsável pela comunicação com as rede de estações da cidade e identificação dos dispositivos. Acima desta camada, são incluídos os Middlewares IoT e Middlewares de Serviço que gerenciam a rede IoT e os serviços disponibilizados às aplicações. Para isso é indicado o uso do X-GSN middleware, componentes da sentilo ou CHOREOS framework. A camada de Gerenciamento de Usuário armazena dados e preferências do usuário, sendo necessário garantir a privacidade protegendo-a e solicitando permissão do usuário para armazenar os dados. A função do Gateway de Rede Social pode utilizar ferramentas como o Spark Streaming, capaz de consumir fluxos de dados do twtiter ou o Spring Social, que auxilia a conexão com outras redes como facebook e linkedin. A próxima camada, de Gerenciamento de Big Data, gerencia todos os dados desde o armazenamento de aplicações e seus códigos, modelos urbanos e repositório de dados. Para isso podem ser utilizados bancos de

Figura 1 – Arquitetura de referência para plataformas de cidades inteligentes proposta por [Santana et al. \(2017\)](#)



Fonte: [Santana et al. \(2017\)](#)

dados não-relacionais como CouchDB, MongoDB e Cassandra para repositórios e dados não-estruturados ou semi-estruturados além de bancos de dados relacionais como MySQL e PostgreSQL para dados estruturados. A arquitetura também apresenta a necessidade de uma “SDK” (*Software development kit*) para facilitar o desenvolvimento das aplicações. Outro aspecto abordado na arquitetura é a Privacidade e Segurança que devem estar presentes em todas as camadas. É indicado o uso do Protocolo SAML para atender a este requisito.

## 2.4 Plataformas de Software para Cidades Inteligentes

Várias iniciativas de cidades inteligentes suportadas por plataformas estão sendo adotadas ao redor do mundo. Alguns estudos apresentam características das iniciativas e

plataformas como os requisitos (PATTI; ACQUAVIVA, 2016), as aplicações (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015), as tecnologias habilitadoras (CASTILHO; KAMIENSKI, 2018; AHAD et al., 2020) ou mais de um destes fatores (CHAMOSO et al., 2020; PERERA et al., 2017; SÁNCHEZ-CORCUERA et al., 2019).

Os requisitos de sistema mais comuns encontrados nestes trabalhos da literatura são segurança, privacidade, escalabilidade, gerenciamento de dados, infraestrutura de rede e interoperabilidade. Como tecnologias habilitadoras são mencionadas computação ubíqua, Big data, conectividade, IoT, computação em nuvem, em névoa e em borda, arquiteturas orientadas a serviço, dentre outros.

Os diversos desafios de implantação de uma plataforma de Software para cidades inteligentes, podem se beneficiar de uma arquitetura de referência específica. Outras pesquisas na área mostraram a necessidade de uma arquitetura de referência ou diretrizes para implantação de cidades inteligentes e pesquisadores vêm tentando definir uma arquitetura universal (SILVA et al., 2013).

Apesar da maioria dos serviços de plataformas de Cidades Inteligentes possuírem características em comum, os requisitos não seguem um padrão e cada arquitetura possui diferenças nas camadas de manipulação dos dados (SÁNCHEZ-CORCUERA et al., 2019). Estas significativas semelhanças estruturais como por exemplo as plataformas serem normalmente baseadas em arquiteturas centralizadas (ZANELLA et al., 2014), não resultam em um consenso arquitetônico, pois grandes variações de requisitos entre cenários diferentes dificultam que uma arquitetura universal seja realista (SILVA; KHAN; HAN, 2018).

A ausência desta arquitetura de referência para plataformas de cidades inteligentes por consequência, faz com que cada plataforma siga suas próprias diretrizes e proponham arquiteturas de solução baseadas em construções a partir de requisitos, soluções existentes ou com outras arquiteturas de referências como base.

Sem uma arquitetura de referência em comum definida ou adotada pelas equipes de desenvolvimento, a literatura que aborda as plataformas de software para cidades inteligentes mostra que muitas plataformas tem se baseado nos requisitos que são levantados, desenvolvendo soluções que busquem atender estes requisitos específicos para plataformas de cidades inteligentes. A maior parte destes requisitos porém, tende a seguir uma linha de requisito não-funcional, por se tratar de requisitos de um software que atua como intermediador das aplicações finais e bases de dados e ter como seus usuários mais frequentes, desenvolvedores de soluções, aplicações e software para cidades inteligentes.

#### 2.4.1 Requisitos para plataformas de cidades inteligentes

Diversos estudos realizaram o levantamento de requisitos para plataformas de cidades inteligentes, grande parte deles motivada pela construção de uma arquitetura de

solução ou proposta de arquitetura de referência. A seguir iremos abordar os requisitos geralmente apresentados na literatura:

**Interoperabilidade** A interoperabilidade é um dos primeiros pontos que uma plataforma de cidade inteligente busca resolver. A interoperabilidade é a capacidade de sistemas realizarem operações entre eles (interoperar) de forma transparente e muitas vezes baseadas em padrões e protocolos comuns entre estes. A interoperabilidade em plataformas de cidades inteligentes é alcançada através da comunicação entre os serviços de gerenciamento e as redes sem fio de sensores, acessibilidade de qualquer dispositivo, plataforma e localização, além da integração eficaz dos componentes ([ACHILLEOS et al., 2019](#)).

**Escalabilidade** A escalabilidade é o requisito que denota a capacidade de sistemas de expandir a sua capacidade de utilização de forma rápida sem demandar um grande aumento de recurso humano, estrutural ou financeiro. As plataformas de cidades inteligentes tendem a ter como requisito em razão da quantidade massiva de usuários, dados e serviços ser crescente através do tempo. A escalabilidade é alcançada em plataformas de software de cidades inteligentes através da modularidade via serviços, modelos e dados distribuídos, evolução descentralizada, reuso de projetos *open source*, adoção de padrões abertos, assíncrono versus síncrono e serviços *stateless* ([ESPOSTE et al., 2017](#)).

**Extensibilidade** O requisito de extensibilidade é a capacidade que um sistema tem de expandir suas funcionalidades e componentes em modificações e melhorias. Nas plataformas de cidades inteligentes a extensibilidade é alcançada ao permitir a adição de serviços, componentes e aplicações conforme os requisitos de sistema e as necessidades dos usuários ([SANTANA et al., 2017](#)).

**Segurança** O requisito segurança em uma plataforma de cidades inteligentes busca evitar ataques à infraestrutura da cidade e roubo de informações.

Alguns trabalhos também trazem outros requisitos que estão mais relacionados a aplicações mais práticas, como requisitos funcionais que são desejáveis para auxiliar os usuários e outros atores envolvidos no desenvolvimento, operação e uso das plataformas.

**Acesso externo a dados** A disponibilidade de interfaces ou API's para permitir o acesso aos dados gerados na plataforma urbana permite que o requisito de Acesso Externo aos dados seja satisfeito.

**Gerenciamento de dados** O gerenciamento de dados realiza a coleta, armazenamento, análise e visualização dos dados da cidade.

**Gerenciamento de rede de sensores sem fio** O gerenciamento de rede de sensores sem fio, que são camadas de gerenciamento para controlar e monitorar dispositivos que compõem a cidade inteligente, permitindo adicionar remover e monitorar sensores e atuadores ([SANTANA et al., 2017](#)).

**Gerenciamento de provedores** O gerenciamento de provedores de serviço, deve prover funcionalidades que permitam vários provedores de serviço utilizem a plataforma com distinção entre si e uma entidade administrativa possua controle de acesso dos provedores, como sistemas multi-instância que buscam permitir que cada “*Stakeholders*” gerencie seus próprios provedores e serviços bem como os sensores e os dados, além de políticas de controle de acesso a recursos ([ACHILLEOS et al., 2019](#)).

Diversas plataformas implementam requisitos funcionais em forma de serviços reutilizáveis, enquanto a visão arquitetural destas plataformas atendem mais a requisitos não-funcionais específicos de acordo com os problemas que buscam resolver ([ESPOSTE et al., 2019](#)).

## 2.4.2 Plataformas e Arquiteturas Na Literatura

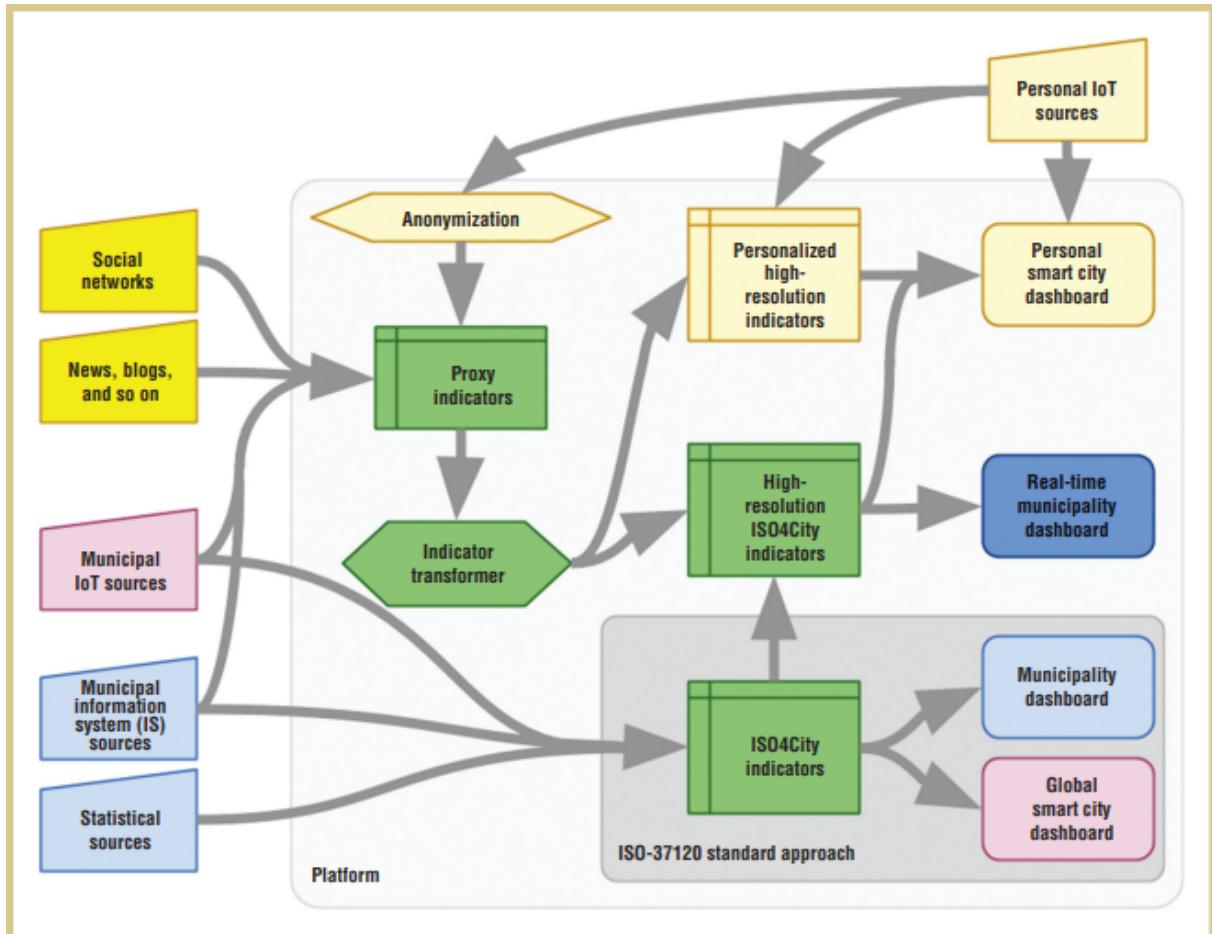
Algumas plataformas para cidades inteligentes que são encontradas na literatura, propuseram arquiteturas de referência ou apresentaram suas arquiteturas de solução.

### 2.4.2.1 Plataforma da cidade de Escópia, Macedônia

Os autores em [Zdraveski et al. \(2017\)](#) propõem uma plataforma com arquitetura baseada no padrão ISO 37120, norma que guia a padronização de dados para indicadores de serviços urbanos e de qualidade de vida. Os indicadores são apresentados quantitativamente, porém como o autor se refere, estes dados são de “baixa resolução”, pois tem a sua atualização em intervalos periódicos longos (anual, semestral, mensal) e acabam por mostrar a média de desempenho dos indicadores. Ao adotar a plataforma que provê métodos para observação e avaliação de fenômenos urbanos, é possível obter dados de desempenho em “alta resolução”, gerando indicadores em tempo real, ajudando a encontrar soluções para cidades inteligentes.

A plataforma integra dados de diversas fontes e foram divididas em 4 grupos: Sistemas Municipais de Informação e Estatística, Dados IoT Municipais, Dados Sociais e Dados Pessoais. A camada de aplicação da arquitetura consiste em uma interface de integração para o módulo de recolhimento de dados (Plataforma de TIC), o núcleo lógico de inteligência racional, um bloco de segurança pra autenticação e uma interface do usuário via web, web services e serviços seguros para nuvem de borda e integração IoT.

Figura 2 – Arquitetura da plataforma da cidade de Escópia, Macedônia

Fonte: [Zdraveski et al. \(2017\)](#)

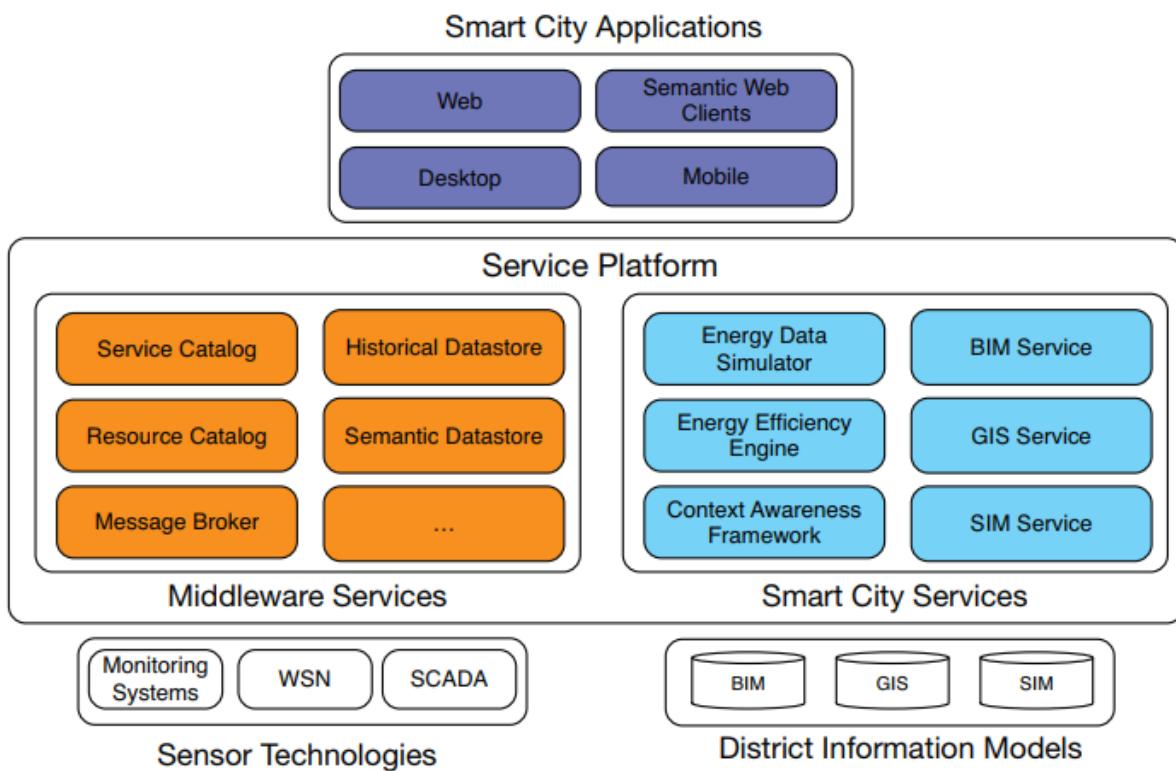
Foi desenvolvido um protótipo utilizando ferramentas de código livre da plataforma Java Spring: Spring services, Spring controllers e Spring XD. Os dados são pré-processados usando o sistema de arquivos Hadoop para otimizar a análise de grandes conjuntos de dados e distribuir um ambiente escalável de trabalho. Os dados gerados são armazenados em um banco de dados MongoDB, não-relacional e ideal para dados heterogêneos. A indexação do banco de dados que permite uma busca em tempo real escalável fica a cargo do Apache Lucene framework, que possui mecanismos avançados de integração. Para a construção do “Dashboard”, foram utilizadas tecnologias JavaScript React e AngularJS além da ferramenta de visualização de dados D3JS e bibliotecas para geração de gráficos.

#### 2.4.2.2 DIMMER

Em estudo de [Krylovskiy, Jahn e Patti \(2015\)](#), é apresentada a plataforma DIMMER e algumas aplicações para eficiência energética.

A arquitetura da solução inclui na base as tecnologias de sensores e modelos de informação distrital. A plataforma de serviço recolhe e processa os dados os dados de serviços IoT de sistemas de sensores heterogêneos (*middleware services*) e de serviços para aplicações de cidades inteligentes (*smart city services*). A ultima camada, no topo, é a camada da aplicações para cidades inteligentes e abrange as aplicações web, desktop, móvel e clientes semânticos web.

Figura 3 – Arquitetura da plataforma DIMMER



Fonte: Krylovskiy, Jahn e Patti (2015)

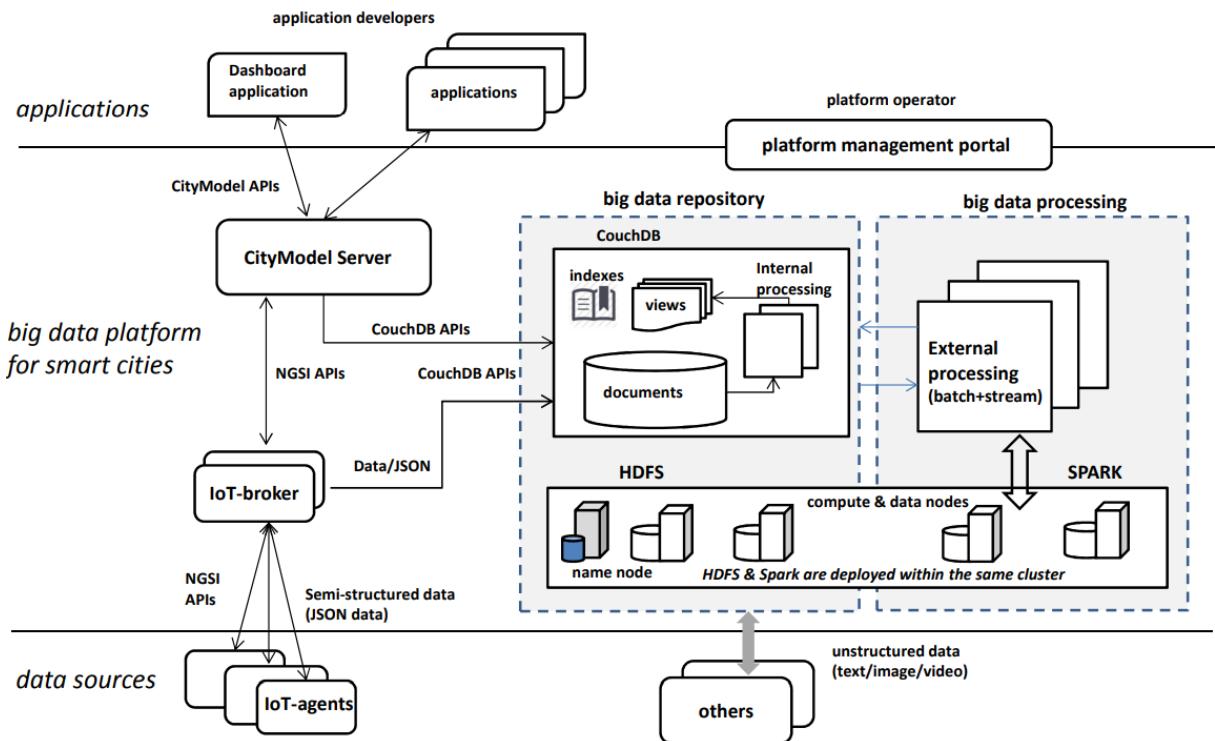
#### 2.4.2.3 CiDAP

O estudo apresenta a arquitetura do sistema da plataforma CiDAP (*City Data and Analytics Platform*) e busca auxiliar desenvolvedores de Plataformas a evitarem problemas práticos com base na experiência implantada em larga escala, na iniciativa de cidade inteligente “*SmartSantander*” (CHENG et al., 2015).

A arquitetura é dividida em quatro módulos: *IoT-broker* e *IoT-agents* para a coleta de dados, *Big Data Repository* para armazenamento dos dados, *Big Data Processing* para análise e processamento de dados e *CityModel server* para a comunicação com aplicações externas. O módulo de coleta de dados *IoT-broker*, coleta os dados de diferentes fontes e encaminha ao *Big Data Repository* para ser armazenada e processada internamente. Caso

a quantidade de dados a ser processadas sejam simples, e não complexas e intensivas, o módulo *Big Data Processing* pode ser opcional. Do contrário, é recomendado o uso de recursos computação escalável baseados em um *cluster* Spark. Após os resultados serem processados pelos módulos anteriores, o *CityModel Server* atende a consultas e assinaturas de aplicações internas numa *API* pré-definida. Uma plataforma de gerenciamento é disponibilizada para o monitoramento da plataforma.

Figura 4 – Arquitetura da plataforma CiDAP



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

#### 2.4.2.4 InterSCity

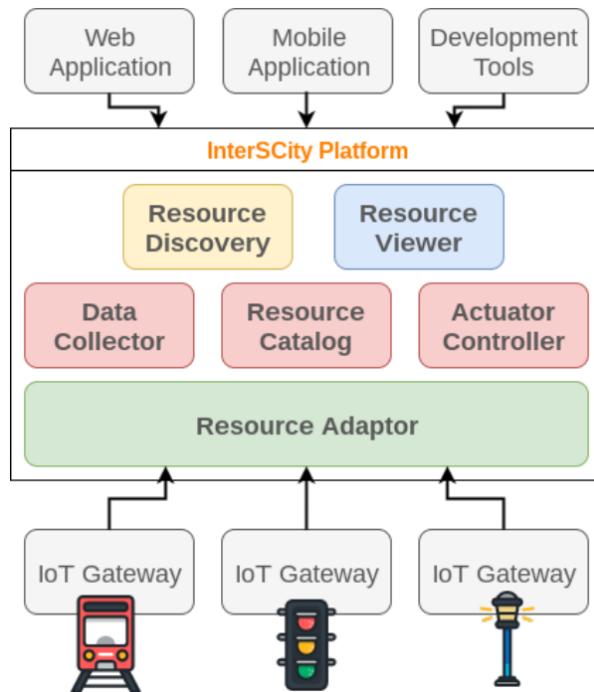
[Esposte et al. \(2017\)](#) adotou a arquitetura de referência proposta por [Santana et al. \(2017\)](#) e propôs a plataforma InterSCity, com foco em guiar o desenvolvimento de plataformas de cidades inteligentes da próxima geração, descrevendo os maiores desafios encontrados para cumprir com requisitos funcionais e não-funcionais.

O desenvolvimento da plataforma buscou adotar padrões de microsserviços como a modularidade via serviços, modelos e dados distribuídos, reuso de projetos de código aberto e adoção de padrões abertos. Para suportar o desenvolvimento de aplicações, serviços e ferramentas para cidades inteligentes, serviços *RESTful* de alto nível são disponibilizados. Os gateways IoT podem registrar dispositivos e dados através de uma API REST sem

complexidade decorrente da comunicação de dispositivos IoT e a plataforma e suas aplicações.

Durante as análises e performance e escalabilidade, a plataforma se mostrou aplicável com um grandes volume de dados urbanos ao validar uma aplicação de estacionamento inteligente.

Figura 5 – Arquitetura da plataforma Intercity

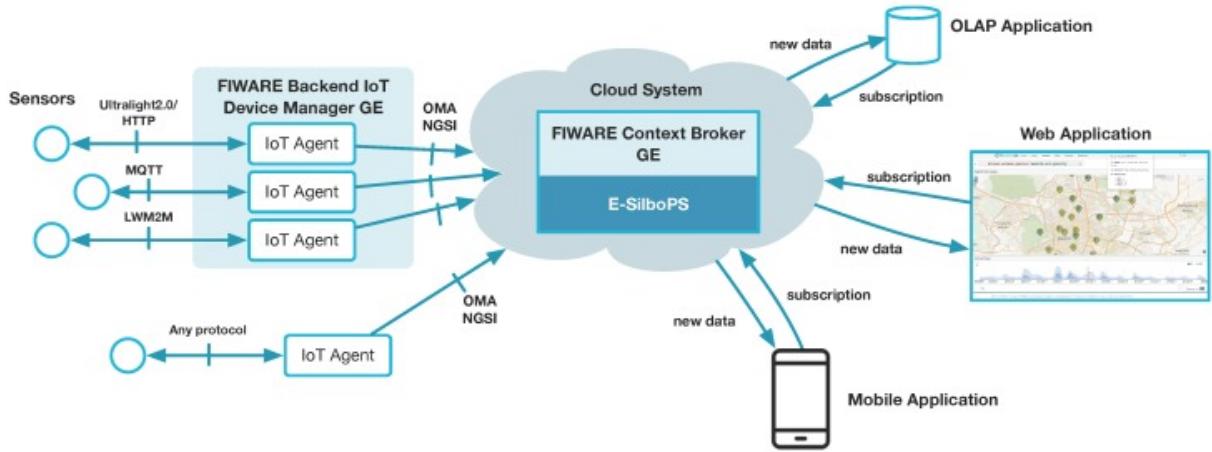


Fonte: [Esposte et al. \(2017\)](#)

#### 2.4.2.5 FIWARE

FIWARE é um projeto em busca de desenvolvimento de tecnologias para a Internet das Coisas com a colaboração de atores do setor de tecnologia da informação e comunicação. Modular e com possibilidade de construir outros contextos "*Smart*", possui o projeto chamado "*City Platform as a Service-Integrated and Open*" (CPaaS.io), em que participam Europa e Japão em que se busca integrar de forma simplificada fontes de dados na plataforma, facilitar o oferecimento de serviços através de IoT, suportar a implantação em cidades de diferentes requisitos, provendo mecanismos de segurança para fornecer privacidade e proteção de dados ([CIRILLO et al., 2019](#)).

Figura 6 – Arquitetura da plataforma Fiware



Fonte: Vavassori, Soriano e Fernández (2017)

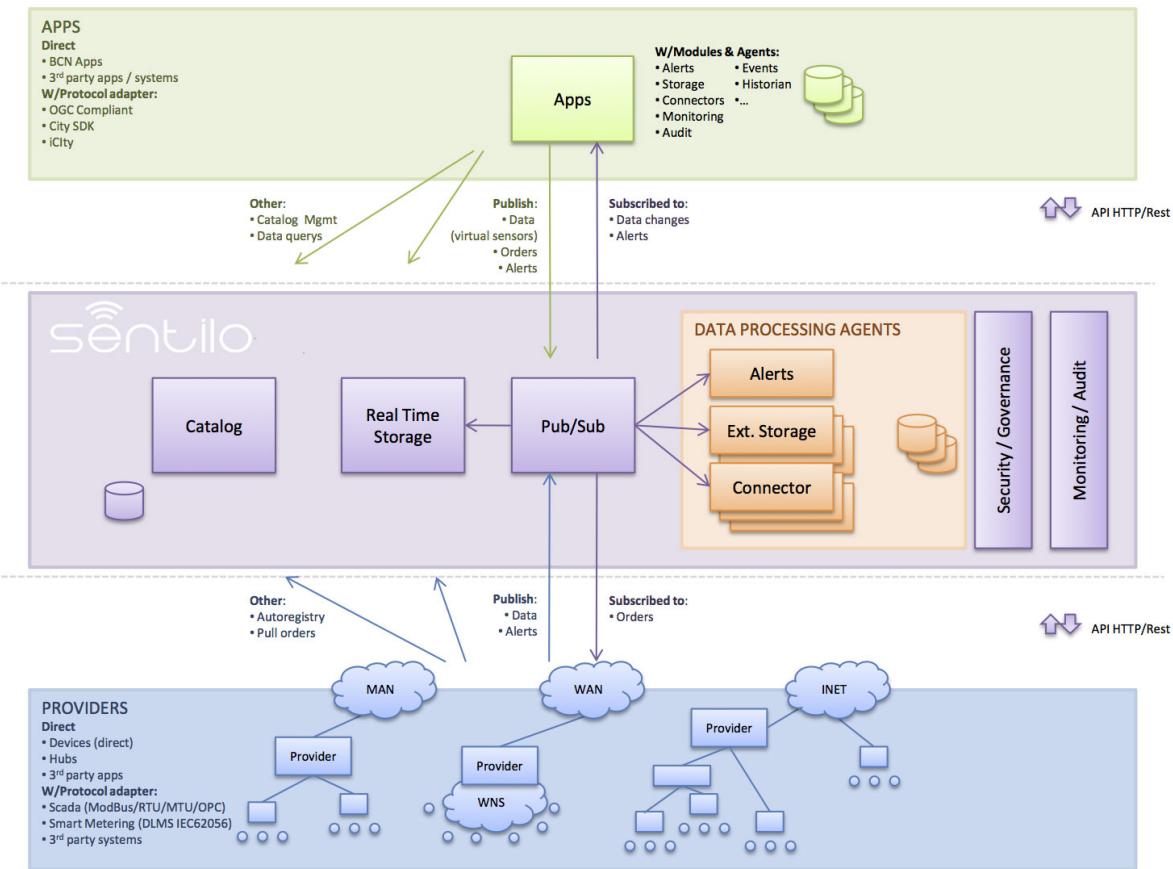
#### 2.4.2.6 Sentilo

Direcionada a municípios que desejam processar uma quantidade grande de informações do ambiente urbano geradas por dispositivos diversos de hardware e software, com um gerenciamento e distribuição de dados centralizado e homogêneo, a Sentilo foi construída pela municipalidade de Barcelona, possui licença de código aberto e diversas integrações e possibilidades de expansão horizontal da plataforma (BAIN, 2014). Com o início do seu projeto de cidades inteligentes em 2012, Barcelona se estabeleceu na vanguarda e a plataforma Sentilo evoluiu e acabou por se expandir para outras cidades posteriormente. Apesar de não fornecer um serviço de alto nível por padrão, a Sentilo com seu código aberto permite que desenvolvedores façam download do sistema, instalem sob demanda em outras cidades e desenvolvam integrações e expansões (CHAMOSO et al., 2018).

A Sentilo foi projetada para processar milhares de mensagens e possuir extensibilidade e modularidade com agentes que adicionam funcionalidades sem alterar o núcleo do sistema. Isso permite a criação de agentes adicionais, além dos disponibilizados pela plataforma de forma estruturada e de acordo com a arquitetura da plataforma (BAIN, 2014).

A implantação da Sentilo gerou um impacto de milhões de dólares anualmente com aumento da receita dos estacionamentos inteligentes e com a economia na utilização de tecnologia inteligente de água, além de milhares de empregos através das iniciativas de cidades inteligentes (CISCO, 2014).

Figura 7 – Arquitetura da plataforma Sentilo



Fonte: [Bain \(2014\)](#)

## 2.5 Mobilidade Inteligente

A mobilidade inteligente é uma das partes integrantes das iniciativas de Cidades Inteligentes. Através da mobilidade inteligente, busca-se otimizar o deslocamento de pessoas, bens e serviços pelo ambiente urbano, apoiando os benefícios da implementação de uma iniciativa de Cidade inteligente e a melhora da qualidade de vida das pessoas ([BENEVOLO; DAMERI; D'AURIA, 2016](#)).

A mobilidade inteligente pode facilitar o gerenciamento de tráfego, dedicar rotas para serviços essenciais e disponibilizar rotas alternativas em caso de tráfego ou emergência, ajudando a prover alternativas sustentáveis de transporte, cuidados ao meio ambiente e a diminuição de engarrafamentos ([PAIVA et al., 2021](#)).

Iniciativas de mobilidade urbana que permita as pessoas optarem dentre diversos meios de transporte, possuem diversos desafios que podem se beneficiar de planejamentos

inteligentes, monitoramentos em tempo real com dispositivos IoT e otimização de sistemas de transporte público ([BADII et al., 2019](#)).

O congestionamento nos meios de transporte urbanos desperdiçam tempo e combustível. Eliminar congestionamentos, gerando novas receitas sustentáveis e uma economia mais aberta ao realizar a integração entre os modos de transporte, contribui para os objetivos das cidades inteligentes ([BATTY et al., 2012](#)).

O Congestionamento de tráfego pode ser melhor gerenciado utilizando tecnologias IoT urbanas monitorando o tráfego com auxílio de sensores e GPS instalado em veículos modernos ou cruzando informações de sensores de qualidade do ar e acústico nas estradas. Isso permite que tanto as autoridades entendam, planejem e controlem melhor o tráfego quanto os cidadãos planejarem suas rotas com antecedência ([ZANELLA et al., 2014](#)).

Estacionamento Inteligente com o uso de sensores e painéis de visualização pode auxiliar a busca por vagas de estacionamento, diminuindo o tráfego e a emissão de Monóxido de Carbono (CO) e através do uso de identificação por radiofrequência (NFC e RFID) também pode ser realizado o controle de estacionamento em vagas reservadas ([ZANELLA et al., 2014](#)).

Ambientes de Rua Adaptáveis utiliza de sensoriamento em tempo real para a compreensão dos fluxos de transporte que permitem a adaptação dinâmica às condições em constante mudança. O ajuste dinâmico de faixas de tráfego pode gerenciar em tempo real o sentido de fluxo de veículos ou a disponibilização de faixas exclusivas para outros meios de transporte como transporte coletivo, ciclistas e pedestres ([ANDREANI et al., 2019](#)).

O Transporte autônomo pode melhorar significativamente a mobilidade nos centros urbanos, seja diminuindo a quantidade de veículos nas ruas e estacionamentos quanto diminuindo os acidentes causados em maioria por erro humano ([CLEVER et al., 2018](#)).

O Planejamento e Desenvolvimento Estratégico de Rotas pode utilizar os dados gerados dados dispositivos para extrair informações esclarecedores sobre o tráfego e as rotas urbanas, enquanto Campanhas de Marketing e Anúncios Digitais podem utilizar placas e painéis publicitários dinâmicos em locais estratégicos conforme a necessidade e alterá-los remotamente ([PAIVA et al., 2021](#)).

Diversos desafios são abordados no cenário de mobilidade inteligente, desde cenários de infra-estrutura urbana física a desafios na implantação da mobilidade inteligente. Dentre estes desafios, a literatura também apresenta alguns desafios aderentes a requisitos e funcionalidades das plataformas de software ou outro componente de objetivo semelhante em iniciativas de cidades inteligentes.

A Integração e Aquisição dos Dados representa a coleta de dados de diferentes origens e protocolos, manipulando grandes quantidades de dados em tempo real, assim como

o gerenciamento das centenas de milhares de entidades conectadas, que além de complexo também é custoso (PAIVA et al., 2021). Um grande número de dispositivos também gera um grande número de pessoas envolvidas, desenvolvedores, analistas, administradores e pode desencadear um grande número de protocolos e dados incompatíveis e inapropriados para o consumo de informação posterior (WENGE et al., 2014) .

# 3 Trabalho Proposto

Este Capítulo apresenta detalhes da metodologia de pesquisa. Será apresentado o estudo a ser desenvolvido delimitado a caracterização da pesquisa, as atividades realizadas e propostas, técnicas para coletas de dados, fontes utilizadas e etapas de planejamento da pesquisa.

## 3.1 Objetivos e Questão de Pesquisa

O principal objetivo do trabalho é *avaliar plataformas de software para cidades inteligentes no que diz respeito a desempenho, viabilidade e funcionalidades que suportem os requisitos para a implantação de aplicações para mobilidade urbana em um caso real*. Assim busca-se a análise de plataformas com maior ou menor aderência a uma aplicação de mobilidade, desempenho satisfatório para as aplicações, viabilidade técnica de implantação em cidades reais e flexibilidade de uso. Com base nestes objetivos, busca-se responder a seguinte pergunta de pesquisa:

**"Qual plataforma de código livre e aberto para cidades inteligentes possui maior viabilidade para suportar aplicações de mobilidade inteligente?"**

## 3.2 Metodologia

De acordo com os objetivos do trabalho e a escassez de estudos que tratem das plataformas de software para cidades inteligentes no contexto da mobilidade inteligente, o trabalho possui natureza de pesquisa aplicada, com objetivo de gerar resultados para a aplicação prática em soluções de problemas específicos ([PRODANOV; FREITAS, 2013](#)).

Do ponto de vista de seus objetivos, o trabalho é uma pesquisa exploratória, com objetivo de desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, reunir conhecimentos e descobertas em relação ao assunto e possibilitar melhor o delineamento e definição do estudo ([PRODANOV; FREITAS, 2013; GIL, 2008](#)). Também pode ser considerado descritivo, pois estas tem a finalidade de descrição das características ou fenômenos entre variáveis, opiniões, associações entre elementos e podem proporcionar uma nova visão do problema, possuindo como a fonte de dados a ser analisado pelo pesquisador, o ambiente em si ([GIL, 2008; PRODANOV; FREITAS, 2013](#)).

Do ponto de vista da abordagem, será realizada uma pesquisa do tipo qualitativa e quantitativa, com a intenção de analisar diversos aspectos do objeto de pesquisa, de acordo com o assunto da pesquisa. Enquanto o qualitativo possui caráter mais descritivo, em que

a interpretação e atribuição de significado faz parte e não requer métodos estatísticos, a pesquisa quantitativa considera o que pode ser numerável, classificável e possível de utilizar estatística (PRODANOV; FREITAS, 2013).

O estudo profundo de um caso com a coleta e análise de informações sobre um ou mais determinados elementos de maneira que permita seu amplo conhecimento, com uma examinação dos fenômenos dentro de seus próprios contextos, são condizentes com o estudo de caso que será o método aplicado na pesquisa (PRODANOV; FREITAS, 2013).

De acordo com Runeson e Höst (2009), os estudos de caso por definição acontecem em cenários reais e normalmente envolvem situações reais complexas podendo dificultar a compreensão e interpretação, porém aumentar o controle para tentar diminuir a complexidade acaba por trazer riscos de disparidade com o escopo do mundo real, desencadeando um *trade-off* de realismo em detrimento do controle.

O estudo de caso desta pesquisa tem como objetivo avaliar diferentes plataformas de software de código livre para o desenvolvimento de aplicações e serviços para cidades inteligentes no contexto de mobilidade inteligente e aplicações relacionadas, e será aplicado no ambiente urbano real, em uma cidade com incentivos e iniciativas de implantação do conceito de cidade inteligente incluindo suas tecnologias habilitadoras.

### 3.3 Atividades

Nesta seção serão descritas as atividades planejadas e realizadas no decorrer da pesquisa conforme apresenta a Figura 8.

#### 3.3.1 Revisão da literatura

A primeira etapa planejada da pesquisa é a revisão da literatura, em que será realizada uma pesquisa por artigos e estudos científicos que auxiliem no processo de pesquisa.

Inicialmente será pesquisado sobre cidades inteligentes, o surgimento do termo, as diferentes definições e contextos relatados e propostos no decorrer do tempo, além dos desafios encontrados, cidades e regiões com iniciativas de implantação e tecnologias habilitadoras. O foco nesta primeira etapa é entender o contexto científico e prático de cidades inteligentes que a pesquisa se insere, conhecer cidades que já implementam soluções e buscar desafios e propostas para o aprimoramento do problema e da abordagem de pesquisa.

Na segunda parte da revisão, será realizada a busca e leitura de estudos sobre o conceito de Internet das Coisas, definições, relações e aplicações em cenários de cidades inteligentes. Deseja-se observar de que forma as tecnologias que representam a Internet

das Coisas podem contribuir e se integrar com o ambiente urbano em busca de tornar as cidades mais inteligentes com o uso de dados e dispositivos.

A Internet das Coisas possui muitas referências a sistemas de software como parte do ecossistema, então se realizará o levantamento de arquiteturas de software para sistemas de cidades inteligentes, que suportem as tecnologias habilitadoras e os dados gerados por dispositivos na cidade. Isso auxiliará a identificar como outros autores propuseram tecnologias de software que concentrem e integrem as soluções de cidades inteligentes.

Aprofundando a pesquisa no âmbito de tecnologias de software para cidades inteligentes, serão realizadas pesquisas sobre plataformas de software para cidades inteligentes, suas funcionalidades, características, tecnologias, linguagens e arquiteturas. Esta etapa irá auxiliar no processo de escolha das plataformas que serão avaliadas.

Por fim será pesquisado sobre os problemas de mobilidade que iniciativas de cidades inteligentes tentam solucionar, mitigar, prever ou prevenir, que é abrangido pelo conceito de mobilidade inteligente, suas definições, aplicações, casos e desafios. Desta forma, poderemos relacionar necessidades e requisitos de soluções de mobilidade com as características e funcionalidades providas pelas plataformas.

### 3.3.2 Levantamento de iniciativas, arquiteturas e plataformas

Com o objetivo de avaliar plataformas de software, será realizada a busca por iniciativas de cidades inteligentes que relatem o uso de sistemas de informação, softwares, plataformas, e ferramentas para cidades inteligentes que possam servir como objeto de avaliação do estudo. Em seguida será pesquisada a existência de arquiteturas de referência para cidades inteligentes e arquiteturas de software que implementam plataformas, com o objetivo de entender melhor o funcionamento técnico de plataformas de software do domínio. Arquiteturas aplicadas em plataformas podem apresentar plataformas congruentes ao estudo de caso proposto.

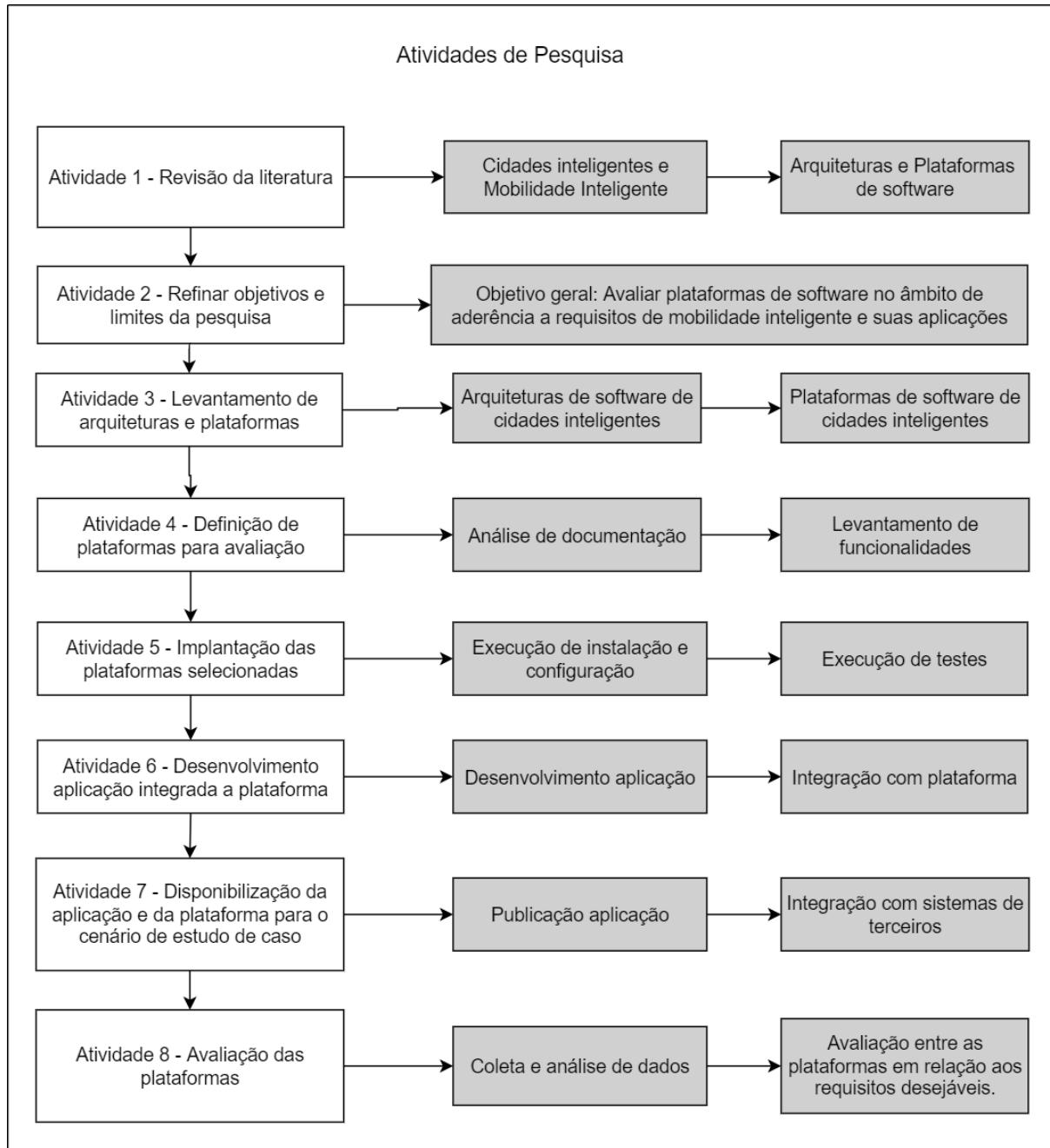
Para avaliar as plataformas a fim de responder a questão de pesquisa e atingir os objetivos do trabalho, será realizada uma seleção de plataformas citadas na literatura que possuam disponibilidade da aplicação atualizada e de licença livre para uso. Também serão levados em consideração para a escolha, documentação abrangente para instalação, configuração e operação, além de funcionalidades condizentes com as encontradas em estudos que descrevem requisitos gerais. As plataformas provisoriamente selecionadas foram a InterSCity, a Sentilo e a FIWARE.

### 3.3.3 Implantação das plataformas selecionadas

Após o processo de escolha das plataformas a serem avaliadas, será iniciado o processo de implantação. Com a definição das plataformas, serão iniciados os trabalhos de

implantação em um servidor disponibilizado pela universidade UTFPR. Com a instalação concluída com sucesso, serão realizados testes funcionais para verificar o funcionamento esperado da plataforma.

Figura 8 – Atividades de pesquisa



Fonte: Autor

### 3.3.4 Desenvolvimento de aplicação integrada a plataforma

Para avaliar em ambiente real das plataformas, será projetada e implementada uma aplicação móvel para dispositivos com sistema operacional Android para realizar rastreamento de posição por coordenadas geográficas e alimentar as plataformas de cidades inteligentes. Será realizado o desenvolvimento da aplicação de rastreamento e em seguida a integração nas plataformas que já possuírem implantação e operação funcional. A integração deve permitir a criação de novos dispositivos, a vinculação do *smartphone* a um dispositivo virtual da plataforma e o envio e recebimento de dados de localização. Com outras plataformas implantadas o objetivo é integra-las em conjunto na mesma aplicação para realizar a avaliação com a operação de plataformas em paralelo. Também será implementada e avaliada uma funcionalidade que possibilite a aplicação a receber informações de valor para o usuário como rotas pré-definidas, previsão de trajeto e tempo de chegada ou deslocamento, dentre outras.

### 3.3.5 Disponibilização da aplicação e plataforma para o cenário de estudo de caso

Deseja-se disponibilizar a aplicação móvel e a plataforma para a implantação de um caso real de cidade inteligente, com a possibilidade de instalação da aplicação em lojas de aplicativos ou em plataformas de gerenciamento de dispositivos corporativo, para segmentos, organizações, entidades e servidores envolvidos com serviços urbanos e/ou públicos, mediados e controlados pela entidade responsável que será a prefeitura do município a ser implantado.

Também será disponibilizada a opção de integração da plataforma com dispositivos embarcados e sistemas de informação de terceiros envolvidos e também autorizados pela entidade responsável. Já existem dispositivos programados e em operação pertencentes e integrantes do projeto de cidades inteligentes de Toledo, aguardando uma plataforma para o armazenamento e disponibilização dos dados de rastreamento destes dispositivos ([CAMARGO; SPANHOL; SOUZA, 2021](#); [ROSSATO; SPANHOL; CAMARGO, 2020](#)).

### 3.3.6 Avaliação das plataformas

A avaliação das plataformas será realizada em vários aspectos, tanto aspectos técnicos de desempenho quanto em aspectos de qualidade de software. Com a implantação em um caso real, com o uso de diversos dispositivos alimentando com dados e utilizando a plataforma exaustivamente, vão ser exigidos recursos computacionais que podem mostrar o desempenho e eficiência do sistema com análise de logs de desempenho, dashboards de sistemas, ferramentas externas de análise e testes. Também serão analisados relatórios de sistema operacional, aplicações e ferramentas que compõem as plataformas, leitura e

gravação de dados massiva, testes de sobrecarga e outros cenários possíveis. Estes dados serão extraídos e comparados para uma análise de desempenho entre plataformas em cenários semelhantes no mesmo estudo de caso.

Também se pretende avaliar a aderência e concordância entre os requisitos levantados e extraídos da literatura e requisitos observados durante a operação e desenvolvimento da aplicação com o que as plataformas disponibilizam para cumprir com o requisito relatado. As dificuldades e divergências entre as funcionalidades e requisitos atendidos por cada uma das plataformas no estudo de caso vão ser descritas e possibilitar que novas pesquisas busquem melhores formas de atravessar os desafios enfrentados por esta pesquisa.

Enfim a avaliação geral do estudo de caso irá descrever as descobertas, conclusões e trabalhos futuros de resultado da pesquisa e buscará responder a questão de pesquisa.

### 3.4 Cronograma

As atividades do estudo relacionadas às relatadas na Figura 8 e as atividades em andamento estão apresentadas na tabela a seguir. A implementação das plataformas restantes deve ocorrer como próximo passo, seguida da integração da aplicação já construída e integrada com a Sentilo nas plataformas a serem em breve implantadas. Após a implantação, integração e execução dos testes da aplicação, será disponibilizada para servidores públicos do município de toledo para a execução de atividades que envolvam mobilidade no ambiente urbano, assim como a alimentação da plataforma por dados de dispositivos embarcados de terceiros, serviços ou outros pesquisadores. Por fim a coleta e a análise de dados será realizada para buscar responder a questão de pesquisa e contribuir com a área realizando a escrita de um artigo com os resultados do estudo.

Tabela 1 – Cronograma de atividades do estudo.

| Atividade                                   | fev/22 | mar/22 | abr/22 | mai/22 | jun/22 | jul/22 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Implantação plataformas restantes           |        |        |        |        |        |        |
| Integração aplicação                        |        |        |        |        |        |        |
| Publicação aplicação e plataforma           |        |        |        |        |        |        |
| Coleta de dados                             |        |        |        |        |        |        |
| Análise dos dados e discussão de resultados |        |        |        |        |        |        |
| Escrita de artigo                           |        |        |        |        |        |        |
| Defesa da dissertação                       |        |        |        |        |        |        |

Fonte: Autores

# 4 Resultados Preliminares

Neste Capítulo serão apresentados os resultados, análises e discussões obtidas na pesquisa até o momento. Com o objetivo de implantar uma plataforma de software que contemple os requisitos de aplicações focadas no cenário de mobilidade em cidades inteligentes, foi realizada a implantação de uma plataforma e o desenvolvimento de uma aplicação integrada com a mesma.

## 4.1 Implantação da Plataforma de Software

Para a realização da análise das plataformas para cidades inteligentes, foram realizadas as etapas de levantamento de plataformas de software citadas na literatura, divulgadas e disponíveis em código aberto na internet com versões estáveis para utilização real, o que é conhecido como ambiente de produção.

Um fator determinante na decisão de quais plataformas seriam realizadas as tentativas de implantação para analisar o cenário, foi o suporte provida pela documentação de software que cobrem requisitos não-funcionais da implantação de uma plataforma para cidades inteligentes, como a instalação das ferramentas e componentes das plataformas, assim como a configuração, integração, suporte e posterior manutenção das plataformas de software.

Durante esta etapa, foram observadas que 3 plataformas específicas das diversas pesquisadas, possuíam a premissa de tanto contemplarem os requisitos não-fucionais e funcionais verificados na literatura, tanto quanto os requisitos de suporte a implantação real como a documentação e disponibilidade de código ou software.

Primeiramente o InterSCIty se mostrou com uma comunidade de desenvolvimento ativa e contribuindo com a comunidade científica gerando vários casos de estudo em diversos âmbitos, como simulação de cidades inteligentes para testes de desempenho, aplicações de exemplo e outras produções como artigos, dissertações, etc. Possui boa documentação para auxílio a implantação, configuração e integração de aplicações na plataforma.

Em seguida, foi constatado que a plataforma Sentilo que é amplamente utilizada por cidades como Barcelona e Dubai, possui ampla documentação e suporte atualizado no website que o hospeda. A documentação abrange também aspectos de integração com outros módulos de expansibilidade e a instalação e configuração de módulos já disponíveis para integração a plataforma, como de persistência de dados, visualização de rotas, dentre outros. A seção que trata da instalação da plataforma explica de forma objetiva os componentes necessários a serem instalados e configurados para o funcionamento da arquitetura da

plataforma.

Por fim a plataforma FIWARE, que possui forte incentivo da união europeia e grandes empresas de tecnologia como a NEC, a Telefonica e a Red Hat, possui uma comunidade ativa e vasta documentação sobre os diversos módulos, integrações e componentes para a implantação da plataforma para cidades inteligentes. A FIWARE pode ser utilizada em diversos domínios da cadeia produtiva até o gerenciamento de dados de grandes cidades, se mostra modular e portanto mais complexa de se implantar, tendo em vista a necessidade de projetar a arquitetura desejada para atingir os objetivos e requisitos de uma plataforma específica para cidades inteligentes. O amplo suporte documental para realizar as etapas que precisamos para implantação e a possibilidade de expansão para diversos componentes e necessidades também respaldou a escolha da plataforma para a análise mais aprofundada.

As plataformas serão implantadas para validação, em um servidor da UTFPR campus Toledo, dedicada ao estudo e hospedagem das plataformas de software.

## **4.2 Plataforma InterSCity**

A documentação da plataforma possui seção específica com orientações para instalação e utilização da plataforma, e recomenda a utilização de dois ou mais servidores para a plataforma, com o sistema operacional Linux Debian Stretch, 5 GB de memória RAM disponível, 25GB de espaço em disco disponível, além da instalação de ferramentas para compor a plataforma.

Foi realizada a tentativa de instalação e implantação da plataforma com o auxílio da documentação e a atuação em diversos procedimentos de configuração não abrangido pela documentação da plataforma. A documentação atual não contempla e explica aspectos, módulos e conjuntos de configurações de software que por ventura venham a sofrer falhas impedindo a plataforma de funcionar como o esperado, mesmo utilizando as tecnologias, recursos e sistemas orientados e recomendados. A escassez na profundidade da documentação da aplicação voltada a instalação, configuração, e desenvolvimento de integrações impactou significativamente na tentativa de implantação da plataforma, mostrando-se inviável até o momento pelo tempo despendido para tal atividade.

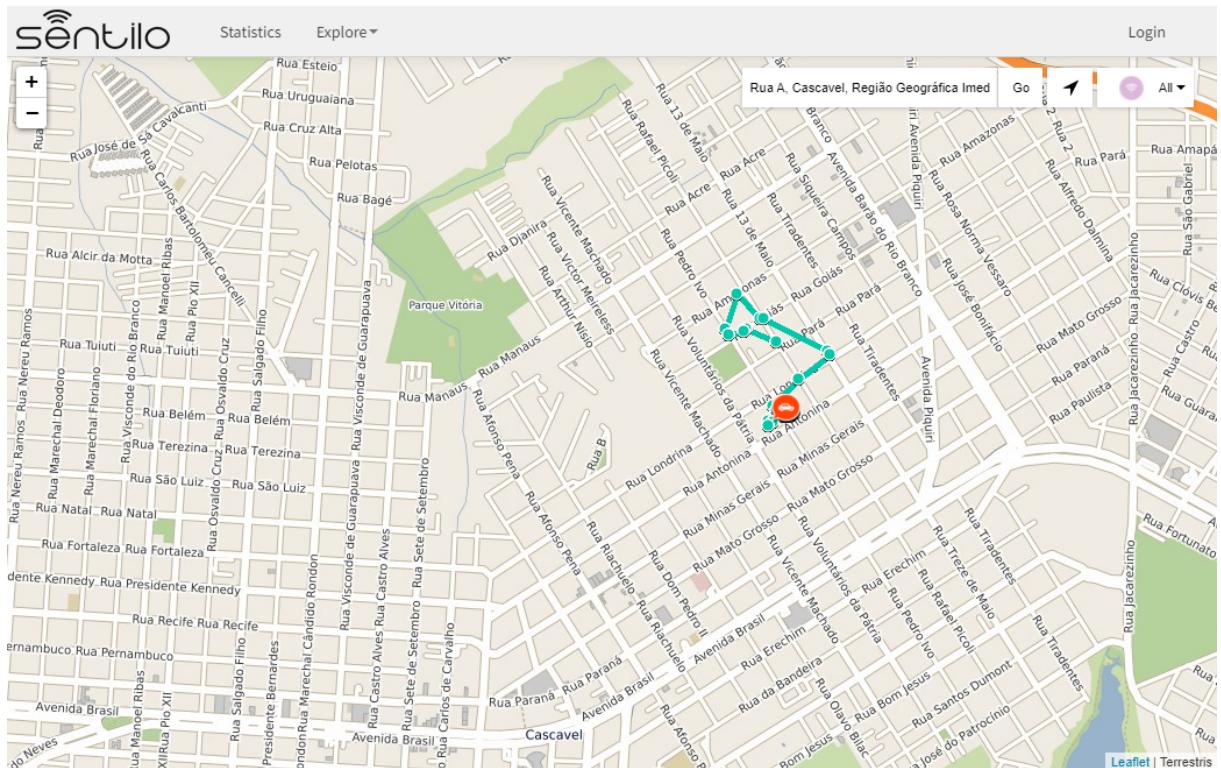
## **4.3 Plataforma Sentilo**

A Plataforma Sentilo possui um website com extensa documentação sobre a instalação, utilização, integração e expansão da plataforma e detalha os componentes que a forma. A plataforma não possui requisitos mínimos ou obrigatórios de hardware, apenas de software. É exigido que o servidor possua as ferramentas JDK 1.8.x ou acima, Maven 3 ou acima e Git para compilar a plataforma.

A plataforma é construída no momento da sua instalação, portanto quaisquer mudanças realizadas no código fonte com o objetivo de alterar funcionalidades ou comportamento da plataforma pode ser facilmente colocada em funcionamento. Muitos dos agentes (nome dos módulos de expansão da sentilo) possuem configurações definidas e persistidas na aplicação em tempo de compilação, ou seja, para a alteração de parâmetros de configuração do núcleo da plataforma, é necessário compilar novamente a plataforma.

Os arquivos do código-fonte da plataforma estão disponíveis no Github público e devem ser baixados para a compilação e instalação da plataforma. A Sentilo permite a instalação de forma padronizada com os artefatos da plataforma com a utilização do arquivo "buildSentilo.sh" que compila o código e constrói os artefatos para serem executados posteriormente de acordo com a necessidade. Caso haja interesse em modificar o código-fonte da plataforma, é possível realizar as modificações e a reconstrução do projeto com o uso do Eclipse Workspace.

Figura 9 – Página inicial do catálogo web do Sentilo



Fonte: Autor

A plataforma possui um conjunto de ferramentas e elementos obrigatórios que compõem a sua infraestrutura e alguns elementos opcionais que também podem se ligar ao Sentilo. Como ferramentas e componentes obrigatórios para o corretos funcionamento da plataforma, o banco de dados não relacional MongoDB é exigido na sua versão 4.0.1 e

ele atua na aplicação de catálogo, com o gerenciamento de usuários, provedores, sensores e demais entidades da aplicação e das informações da interface web da plataforma. O Redis na versão 4.0.11 também é uma das ferramentas que fazem parte obrigatória da plataforma Sentilo, e atua como o principal banco de dados de registros de sensores na aplicação. O Redis é um banco de dados chave-valor em memória, de alta disponibilidade, taxa de transferência, escalabilidade e baixa latência. Desta forma, a utilização não depende de comunicação e busca de dados em disco, reduzindo o tempo necessário para que as operações sejam realizadas, porém o Redis não tem o objetivo de ser um banco de dados durável e consistente, ou seja, o registro das informações em memória, não garante a persistência a longo prazo, pois a capacidade de armazenamento das informações são de acordo com o espaço de memória física e a partir do momento que a memória já está preenchida, quando o banco recebe informações mais recentes elas sobrescrevem informações mais antigas da memória, como uma fila. Para a persistência de registros de forma duradoura, a Sentilo possui agente com integrações que permitem o relacionamento com outros bancos de dados e a replicação dos dados do Redis a outros servidores e serviços.

A Sentilo possui um Middleware IoT implementado que permite gerenciar uma série de recursos, incluindo provedores, aplicações, sensores e componentes. Isso possibilita o gerenciamento dos dispositivos tanto via API quanto via plataforma web administrativa. Assim disponibiliza uma interface de visualização dos componentes registrados na plataforma e os dados recebidos.

O Gerenciamento de Dados na plataforma, compreende a coleta, armazenamento, análise e visualização dos dados da cidade. A Sentilo possibilita que os dados sejam publicados e obtidos via API REST. Internamente isso é atingido utilizando como repositório primário o Redis. Um mecanismo PubSub (Publicação e Subscrição) do REDIS é implementado em um processo Java no Sentilo, permitindo que clientes da plataforma publiquem e subscrevam a eventos e dados do sistema. Os agentes nativos da Sentilo que realizam a integração a outros bancos de dados os alimentando com os dados de tempo real do Redis, utilizam deste mecanismo para realizar esta operação.

A API REST que o Sentilo implementa, também acaba por atender a um dos requisitos mais comuns de cidades inteligentes, o Acesso Externo aos Dados, quando Interfaces ou API's permitem o acesso aos dados gerados na plataforma urbana por e a comunicação de clientes externos com os mecanismos da plataforma. Na Sentilo a API REST possibilita a publicação, obtenção e exclusão de dados, ordens, alarmes, subscrições e dispositivos/componentes/sensores por clientes externos.

A comunicação de dados com a plataforma, contempla fatores de segurança com um fluxo de autenticação e autorização bem definido, provendo suporte a este requisito não-funcional das plataformas de cidades inteligentes, que deve ser capaz de evitar acesso não

autorizado e roubo de informações. Na Sentilo, o uso de um Token de autenticação único para cada cliente ou provedor, anexado ao cabeçalho (HEADER) de todas as chamadas HTTP para a REST API da plataforma restringe o acesso não autorizado a dados e a plataforma. O gerenciamento destes Tokens é realizado pelo módulo de catálogo na API ou pelo gerenciamento de provedores na plataforma web administrativa.

A Sentilo possui um módulo de interface ao usuário chamado catálogo web, aonde os administradores da plataforma, dos provedores e das diferentes entidades podem gerenciar permissões, autorizando aplicações específicas a realizarem leitura ou escrita em recursos de terceiros, usuários gerenciais efetuarem mudanças e dispositivos serem adicionados alterados ou removidos.

Figura 10 – Página de gerenciamento de componentes no catálogo web da Sentilo

The screenshot shows the 'Components' section of the Sentilo administration interface. On the left, there's a sidebar with links like Organization, Users, Applications, Providers, Components (which is highlighted), Sensors / Actuators, Alerts, Alerts creation rules, Active subscriptions, Types of Sensors / Actuators, and Types of components. The main area has a table titled 'Components' with the following data:

|                          | Name             | Description      | Provider | Location        | Type  | Public              | Creation date |
|--------------------------|------------------|------------------|----------|-----------------|-------|---------------------|---------------|
| <input type="checkbox"/> | Meteo-001        | cascavel@ppgcomp | Static   | meteo           | true  | 03/09/2022 12:31:31 |               |
| <input type="checkbox"/> | Tracker-001      | cascavel@ppgcomp | Mobile   | vehicle_tracker | true  | 03/09/2022 12:33:20 |               |
| <input type="checkbox"/> | Veiculo-01       | cascavel@ppgcomp | Mobile   | vehicle_tracker | false | 07/10/2022 14:07:14 |               |
| <input type="checkbox"/> | Veiculo-01-Edson | cascavel@ppgcomp | Mobile   | vehicle_tracker | false | 07/10/2022 14:16:18 |               |
| <input type="checkbox"/> | comp-008         | cascavel@ppgcomp | Mobile   | vehicle_tracker | false | 22/09/2022 09:25:13 |               |
| <input type="checkbox"/> | test             | cascavel@ppgcomp | Mobile   | vehicle_tracker | false | 23/09/2022 07:39:34 |               |
| <input type="checkbox"/> | test-001         | cascavel@ppgcomp | Mobile   | vehicle_tracker | false | 23/09/2022 09:08:50 |               |

Fonte: Autor

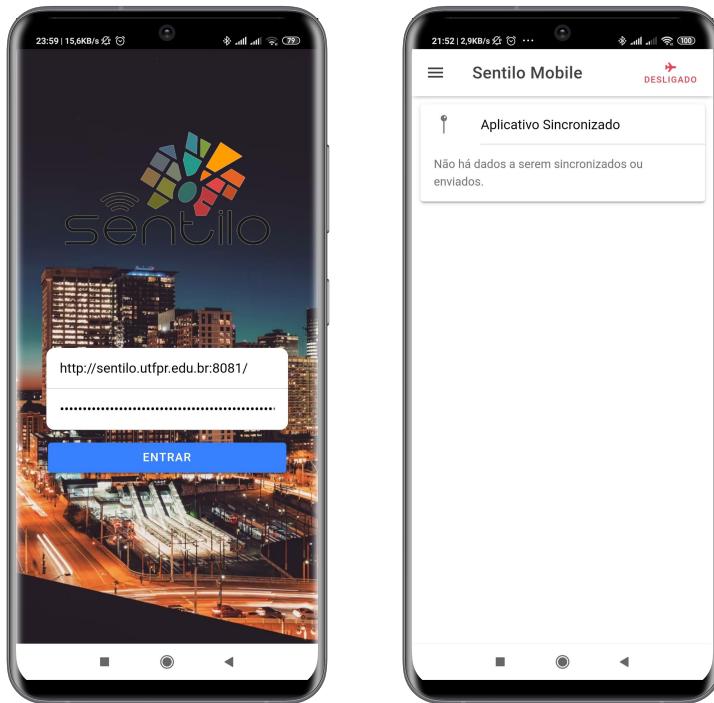
A Sentilo também possui uma configuração de multi-inquilino, em que a mesma instância da plataforma, pode possuir mais de uma cidade cadastrada e cada cidade possuir sua própria interface web para visualização, entidades, dados e controle gerencial, porém podem compartilhar informações entre elas e com terceiros. Quando utilizada com esta configuração, uma função de administrador geral surge para delegar usuários e permissões para cada administrador das diferentes organizações. O acesso a organizações diferentes se

dá pelo endereço da plataforma, enquanto a omissão da organização apresenta os dados de todas as organizações na instância principal da plataforma.

#### 4.4 Aplicação para o cenário de Mobilidade integrada a Plataforma de Software para cidades inteligentes

Para realizar a avaliação específica do cenário de mobilidade em uma implantação real de cidades inteligentes e analisar o suporte que as plataformas provêm aos requisitos e necessidades de desenvolvimento de aplicações para cidades inteligentes, foi desenvolvida uma aplicação móvel para smartphones com o sistema operacional Android que integrado a plataforma, alimenta a plataforma de software com dados de localização e velocidade.

Figura 11 – Tela de autenticação e tela inicial da aplicação móvel



Fonte: Autor

A aplicação foi desenvolvida utilizando o framework de desenvolvimento de aplicações híbridas Ionic. Inicialmente construída sobre o AngularJS, Javascript e Apache Cordova, na versão 5, utilizada no desenvolvimento da aplicação, é utilizada a linguagem TypeScript, versão tipada do Javascript desenvolvida pela Microsoft. O framework também é composto pelo Capacitor, ferramenta responsável pela geração do binário executável para dispositivos móveis com o sistema android (extensão .APK) com suporte e acesso a

recursos nativos do dispositivo através do uso de plugins nativos do ionic Capacitor ou plugins da comunidade Cordova, como no caso da aplicação desenvolvida, o monitoramento da conectividade a rede e recuperação de dados de geolocalização.

A aplicação realiza a autenticação mediante o token de acesso ao provedor ou aplicação cadastrada na interface de configuração web da sentilo, na organização desejada, e o endereço do servidor em que a plataforma está instalada. Estas informações são inseridas na primeira tela da aplicação pelo usuário. A aplicação não realiza uma confirmação de validade do token atualmente no momento da inserção das credenciais, apenas a utiliza no momento das consultas ou envio de dados da aplicação para o servidor.

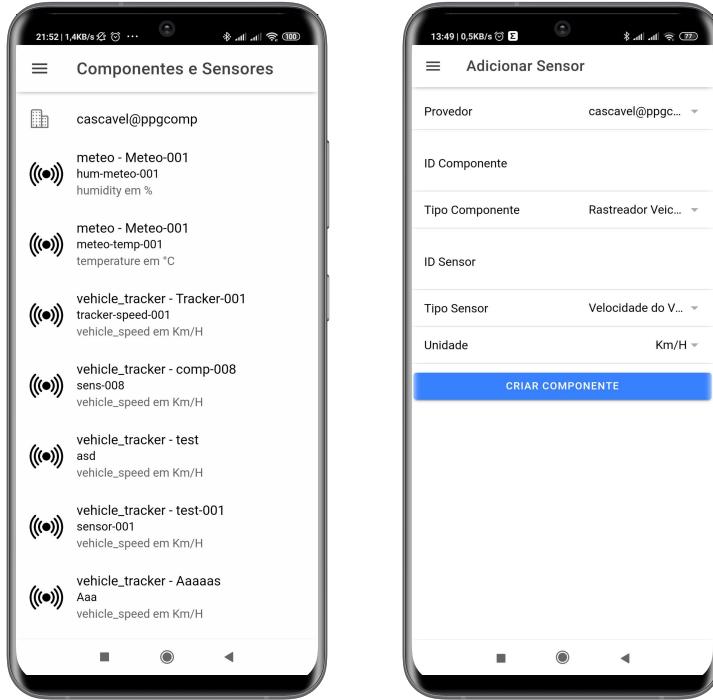
Após entrar na aplicação, as solicitações de permissão de acesso a geolocalização e rede é apresentado ao usuário pelo sistema operacional, devendo ser aceitas para prosseguir com o correto funcionamento do rastreio. A tela inicial apresenta possibilidade do início imediato de rastreamento e informações de como realizar a configuração de emparelhamento a plataforma, iniciando pelo processo de seleção de dispositivo.

Esta funcionalidade realiza uma solicitação na API REST da plataforma, recuperando os dispositivos cadastrados na plataforma que pertençam ao provedor ou aplicação referente ao token utilizado na aplicação e permitindo a escolha de qual dispositivo virtualmente cadastrado será representado na plataforma pelo smartphone. Quando finalizada a vinculação do dispositivo a plataforma, já é possível realizar a sincronização e envio das observações para a plataforma caso já possua os registros.

Caso não haja dispositivos cadastrados ou o dispositivo a ser vinculado ainda não esteja cadastrado, é possível realizar o cadastro do dispositivo a partir da aplicação móvel, atuando em parte do gerenciamento de dispositivos na plataforma. Para isto é necessário definir informações como provedor, tipo de componente, tipo de sensor e unidade de medida escolhendo valores disponíveis a partir da configuração e cadastro destas entidades na plataforma web da Sentilo, além de nome identificador do componente e do sensor que são campos abertos.

Os registros de posicionamento da aplicação são consideradas observações pela plataforma, que recebe o posicionamento do sensor em questão juntamente com um parâmetro observado. Na aplicação o parâmetro observado e enviado juntamente com a geolocalização é a velocidade informada pelo método da geolocalização e GPS do smartphone. Para o acesso a funcionalidade nativa de consulta a localização e demais informações provindas do módulo do GPS, é utilizada um plugin Cordova que realiza o monitoramento e armazenamento das alterações de posicionamento em segundo plano. Ou seja, para smartphones que possuem outros aplicativos em uso, a aplicação continua registrando o posicionamento. A extensão padrão do Ionic, cordova e capacitor não são compatíveis com a geolocalização em segundo plano, portanto houve uma intensa implementação para realizar a integração.

Figura 12 – Lista e cadastro de dispositivos da plataforma

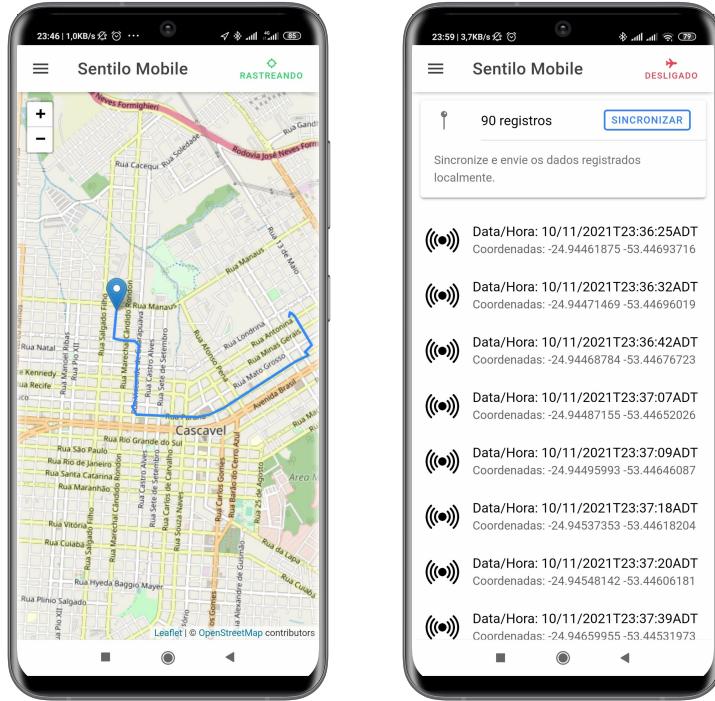


Fonte: Autor

O rastreamento em segundo plano possibilita um melhor gerenciamento de energia do dispositivo, realizando observações pontuais de acordo com a detecção de mudança de posição ou direção de acordo com parâmetros que podem ser definidos na área de configuração da aplicação. É possível definir a distância em que as mudanças passam a ser detectadas, a distância entre observações e o intervalo de tempo entre as observações. Esta funcionalidade foi disponibilizada para que possa haver testes e experimentações dos melhores valores para realizar um rastreamento preciso e de baixo consumo energético e de dados. Também possibilita níveis diferentes de rastreamento para aplicações diferentes, como um monitoramento constante de velocidade pode requerer uma taxa de atualização de dados mais alta, outra aplicação que tem como objetivo registrar as rotas que o veículo percorre pode estar mais orientado a mudança de direção, exigindo uma menor taxa de atualização da geolocalização, economizando energia em dispositivos a bateria e transferência de dados em dispositivos remotos ou sem conectividade.

A aplicação possui suporte ao rastreamento offline mesmo sem sensores cadastrados, pois armazena as observações de geolocalização no dispositivo e transfere-os apenas quando possuir conectividade e a configuração do componente na aplicação. Isto é alcançado através do monitoramento da conectividade a internet pela aplicação, provido por uma das bibliotecas nativas do Capacitor, componente do *framework* utilizado.

Figura 13 – Rastreamento e lista de registros de geolocalização



Fonte: Autor

Figura 14 – Tela de configuração e ajustes de geolocalização



Fonte: Autor

## 5 Considerações finais

A pesquisa pretende continuar contribuindo tanto com a pesquisa científica buscando responder metodologicamente a questão de pesquisa e somando com conhecimento sobre a área de estudo, além de contribuir com a sociedade na qual será implementada o projeto de cidade inteligente na qual a plataforma será a peça chave.

Como resultado preliminar de publicação, um resumo do trabalho de pesquisa preliminar foi submetido e aprovado na I Mostra de Trabalhos de Pós-graduandos em Ciência da Computação do Paraná, evento integrante do II Fórum da Pós-Graduação em Ciência da Computação do Paraná, descrevendo em linhas gerais os desafios, dificuldades e objetivos da pesquisa em suas etapas iniciais. A mostra de trabalhos reuniu trabalhos preliminares de Mestrado, Doutorado e Pós-Doutorado de Ciências da Computação do Estado do Paraná.

Nas próximas etapas será realizada a tentativa e avaliação da implantação de mais duas plataformas e em seguida a integração do aplicativo *mobile* e dos dispositivos já em operação, nas três plataformas para as etapas de comparação e avaliação.



## Referências

- ACHILLEOS, A. et al. Adopting an open smart city platform: a survey. In: IEEE. *2019 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*. [S.l.], 2019. p. 384–389. Citado 2 vezes nas páginas [21](#) e [22](#).
- AHAD, M. A. et al. Enabling technologies and sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, Elsevier, p. 102301, 2020. Citado 2 vezes nas páginas [12](#) e [20](#).
- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of urban technology*, Taylor & Francis, v. 22, n. 1, p. 3–21, 2015. Citado 4 vezes nas páginas [9](#), [15](#), [16](#) e [20](#).
- ANDREANI, S. et al. Reframing technologically enhanced urban scenarios: A design research model towards human centered smart cities. *Technological Forecasting and Social Change*, Elsevier, v. 142, p. 15–25, 2019. Citado na página [29](#).
- ARASTEH, H. et al. IoT-based smart cities: a survey. In: IEEE. *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*. [S.l.], 2016. p. 1–6. Citado na página [12](#).
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer networks*, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. Citado na página [17](#).
- BADII, C. et al. Sii-mobility: An iot/ioe architecture to enhance smart city mobility and transportation services. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 19, n. 1, p. 1, 2019. Citado 2 vezes nas páginas [11](#) e [29](#).
- BAIN, M. Sentilo-sensor and actuator platform for smart cities. *Retr. Febr*, v. 20, p. 2015, 2014. Citado 2 vezes nas páginas [27](#) e [28](#).
- BARNS, S. Smart cities and urban data platforms: Designing interfaces for smart governance. *City, culture and society*, Elsevier, v. 12, p. 5–12, 2018. Citado na página [10](#).
- BATTY, M. et al. Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, Springer, v. 214, n. 1, p. 481–518, 2012. Citado 3 vezes nas páginas [9](#), [11](#) e [29](#).
- BENEVOLO, C.; DAMERI, R. P.; D'AURIA, B. Smart mobility in smart city. In: *Empowering organizations*. [S.l.]: Springer, 2016. p. 13–28. Citado 2 vezes nas páginas [11](#) e [28](#).
- CAMARGO, E. T. de; SPANHOL, F. A.; SOUZA, Á. R. Castro e. Deployment of a lorawan network and evaluation of tracking devices in the context of smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*, SpringerOpen, v. 12, n. 1, p. 1–24, 2021. Citado 2 vezes nas páginas [13](#) e [35](#).
- CARAGLIU, A.; BO, C. D.; NIJKAMP, P. Smart cities in europe. *Journal of urban technology*, Taylor & Francis, v. 18, n. 2, p. 65–82, 2011. Citado na página [16](#).

CASTILHO, G. U.; KAMIENSKI, C. A. Aplicação de computação em névoa na internet das coisas para cidades inteligentes: da teoria à prática. In: SBC. *Anais do XVI Workshop em Clouds e Aplicações*. [S.l.], 2018. Citado na página 20.

CHAMOSO, P. et al. Smart city as a distributed platform: Toward a system for citizen-oriented management. *Computer Communications*, Elsevier, v. 152, p. 323–332, 2020. Citado na página 20.

CHAMOSO, P. et al. Tendencies of technologies and platforms in smart cities: a state-of-the-art review. *Wireless Communications and Mobile Computing*, Hindawi, v. 2018, 2018. Citado na página 27.

CHENG, B. et al. Building a big data platform for smart cities: Experience and lessons from santander. In: IEEE. *2015 IEEE International Congress on Big Data*. [S.l.], 2015. p. 592–599. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

CHOURABI, H. et al. Understanding smart cities: An integrative framework. In: IEEE. *2012 45th Hawaii international conference on system sciences*. [S.l.], 2012. p. 2289–2297. Citado na página 9.

CIRILLO, F. et al. A standard-based open source iot platform: Fiware. *IEEE Internet of Things Magazine*, IEEE, v. 2, n. 3, p. 12–18, 2019. Citado na página 26.

CISCO. *IoE-Driven Smart City Barcelona Initiative Cuts Water Bills, Boosts Parking Revenues, Creates Jobs More*.  
[https://www.cisco.com/c/dam/m/en\\_us/iot/publicsector/pdfs/jurisdictions/Barcelona\\_Jurisdiction.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/iot/publicsector/pdfs/jurisdictions/Barcelona_Jurisdiction.pdf)

CLEDOU, G.; ESTEVEZ, E.; BARBOSA, L. S. A taxonomy for planning and designing smart mobility services. *Government Information Quarterly*, Elsevier, v. 35, n. 1, p. 61–76, 2018. Citado na página 12.

CLEVER, S. et al. Ethical analyses of smart city applications. *Urban science*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 2, n. 4, p. 96, 2018. Citado na página 29.

CLOUTIER, R. et al. The concept of reference architectures. *Systems Engineering*, Wiley Online Library, v. 13, n. 1, p. 14–27, 2010. Citado na página 18.

DAMERI, R. P.; COCCHIA, A. Smart city and digital city: twenty years of terminology evolution. In: *X Conference of the Italian Chapter of AIS, ITAIS*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1–8. Citado na página 15.

ESPOSTE, A. d. M. D. et al. Design and evaluation of a scalable smart city software platform with large-scale simulations. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 93, p. 427–441, 2019. Citado na página 22.

ESPOSTE, A. M. D. et al. Intercity: A scalable microservice-based open source platform for smart cities. In: *SMARTGREENS*. [S.l.: s.n.], 2017. v. 1, p. 35–46. Citado 3 vezes nas páginas 21, 25 e 26.

FARIA, R. et al. Smart mobility: A survey. In: IEEE. *2017 International Conference on Internet of Things for the Global Community (IoTGC)*. [S.l.], 2017. p. 1–8. Citado na página 11.

- GARLAN, D. Software architecture. Carnegie Mellon University, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 18.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. [S.l.]: 6. ed. Editora Atlas SA, 2008. Citado na página 31.
- GUSMÃO, A. L. de et al. A study about architectural requirements in a transition from product to software platform. In: *Proceedings of the 10th European Conference on Software Architecture Workshops*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–4. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 17.
- HALL, R. E. et al. *The vision of a smart city*. [S.l.], 2000. Citado na página 16.
- HARRISON, C. et al. Foundations for smarter cities. *IBM Journal of research and development*, IBM, v. 54, n. 4, p. 1–16, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- JOHNSON, B. Cities, systems of innovation and economic development. *Innovation*, Taylor & Francis, v. 10, n. 2-3, p. 146–155, 2008. Citado na página 9.
- KHATOUN, R.; ZEADALLY, S. Smart cities: concepts, architectures, research opportunities. *Communications of the ACM*, ACM New York, NY, USA, v. 59, n. 8, p. 46–57, 2016. Citado na página 16.
- KON, F.; SANTANA, E. F. Z. Cidades inteligentes: Conceitos, plataformas e desafios. In: *Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 2–49. Citado na página 12.
- KRYLOVSKIY, A.; JAHN, M.; PATTI, E. Designing a smart city internet of things platform with microservice architecture. In: IEEE. *2015 3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud*. [S.l.], 2015. p. 25–30. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- LAZAROIU, G. C.; ROSCIA, M. Definition methodology for the smart cities model. *Energy*, Elsevier, v. 47, n. 1, p. 326–332, 2012. Citado na página 16.
- LLOYD, P.; GALAMBOS, G. M. Technical reference architectures. *IBM Systems Journal*, IBM, v. 38, n. 1, p. 51–75, 1999. Citado na página 18.
- NAVIA, T.; VANESSA, M. et al. Cidade inteligente: modelo organizacional e tecnologias a partir de uma perspectiva de dados urbanos. [sn], 2016. Citado na página 10.
- NEIROTTI, P. et al. Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts. *Cities*, Elsevier, v. 38, p. 25–36, 2014. Citado na página 16.
- NUAIMI, E. A. et al. Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*, Springer, v. 6, n. 1, p. 25, 2015. Citado na página 12.
- PAIVA, S. et al. Enabling technologies for urban smart mobility: Recent trends, opportunities and challenges. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 21, n. 6, p. 2143, 2021. Citado 6 vezes nas páginas 11, 12, 17, 28, 29 e 30.
- PATTI, E.; ACQUAVIVA, A. Iot platform for smart cities: Requirements and implementation case studies. In: IEEE. *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)*. [S.l.], 2016. p. 1–6. Citado na página 20.

PERERA, C. et al. Fog computing for sustainable smart cities: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, ACM New York, NY, USA, v. 50, n. 3, p. 1–43, 2017. Citado na página 20.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2<sup>a</sup> Edição*. [S.l.]: Editora Feevale, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

ROSSATO, J.; SPANHOL, F. A.; CAMARGO, E. T. de. Implantação e avaliação de uma rede sem-fio de longo alcance e baixa potência para cidades inteligentes. In: SBC. *Anais do IV Workshop de Computação Urbana*. [S.l.], 2020. p. 192–205. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 35.

RUNESON, P.; HÖST, M. Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. *Empirical software engineering*, Springer, v. 14, n. 2, p. 131–164, 2009. Citado na página 32.

SÁNCHEZ-CORCUERA, R. et al. Smart cities survey: Technologies, application domains and challenges for the cities of the future. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 15, n. 6, p. 1550147719853984, 2019. Citado na página 20.

SANTANA, E. F. Z. et al. Software platforms for smart cities: Concepts, requirements, challenges, and a unified reference architecture. *ACM Computing Surveys (Csur)*, ACM New York, NY, USA, v. 50, n. 6, p. 1–37, 2017. Citado 6 vezes nas páginas 5, 18, 19, 21, 22 e 25.

SILVA, B. N.; KHAN, M.; HAN, K. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, Elsevier, v. 38, p. 697–713, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 20.

SILVA, W. M. da et al. Smart cities software architectures: a survey. In: *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1722–1727. Citado na página 20.

SÖDERSTRÖM, O.; PAASCHE, T.; KLAUSER, F. Smart cities as corporate storytelling. *City*, Taylor & Francis, v. 18, n. 3, p. 307–320, 2014. Citado na página 15.

TAYLOR, J. T.; TAYLOR, W. T. Patterns in the machine. Springer, 2021. Citado na página 17.

VAVASSORI, S.; SORIANO, J.; FERNÁNDEZ, R. Enabling large-scale iot-based services through elastic publish/subscribe. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 17, n. 9, p. 2148, 2017. Citado na página 27.

WENGE, R. et al. Smart city architecture: A technology guide for implementation and design challenges. *China Communications*, IEEE, v. 11, n. 3, p. 56–69, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 30.

XIA, F. et al. Internet of things. *International journal of communication systems*, v. 25, n. 9, p. 1101, 2012. Citado na página 10.

ZANELLA, A. et al. Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, IEEE, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 10, 17, 20 e 29.

ZDRAVESKI, V. et al. Iso-standardized smart city platform architecture and dashboard. *IEEE Pervasive Computing*, IEEE, v. 16, n. 2, p. 35–43, 2017. Citado 2 vezes nas páginas [22](#) e [23](#).