

JAI

Jornadas de Atualização em Informática 2016



CSBC 2016

XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação
PUCRS | PORTO ALEGRE/RS

Sociedade Brasileira de Computação | SBC

Editores

José Carlos Maldonado
José Viterbo
Marcio Eduardo Delamaro
Sabrina Marczak

Realização

Faculdade de Informática | FACIN
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul | PUCRS
Sociedade Brasileira de Computação | SBC

Capítulo

1

Cidades Inteligentes: Conceitos, plataformas e desafios

Fabio Kon, Eduardo Felipe Zambom Santana

Abstract

With the growth of the urban population, the infrastructural problems and limited resources of thousands of cities around the world affect negatively the lives of billions of people. Making cities smarter can help improving city services and increasing the quality of life of their citizens. Information and communication technologies (ICT) are a fundamental means to move towards smarter city environments. Using a software platform on top of which Smart City applications can be deployed facilitates the development and integration of such applications. However, there are, currently, significant technological and scientific challenges that must be faced by the ICT community before these platforms can be widely used. This chapter presents the state-of-the-art and the state-of-the-practice in Smart Cities environments. We analyze eleven smart city platforms and eleven smart city initiatives with respect to the most used enabling technologies as well as functional and non-functional requirements. Finally, we enumerate open research challenges and comment on our vision for the area in the future.

Resumo

Com o crescimento da população urbana, problemas de infraestrutura e de acesso limitado a recursos em diversas cidades ao redor mundo afetam negativamente a vida de bilhões de pessoas. Tornar as cidades mais inteligentes pode ajudar a melhorar os serviços urbanos aumentando a qualidade de vida de seus cidadãos. A Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) são meios fundamentais para esse objetivo. Uma plataforma de software pode ser usada para facilitar enormemente a criação e integração de aplicações robustas para cidades inteligentes. Entretanto, ainda existem desafios técnicos e científicos significativos que necessitam ser enfrentados antes que essas plataformas possam ser amplamente utilizadas. Este capítulo apresenta o estado da arte e o estado da prática em iniciativas e ambientes de cidades inteligentes. Para isso, analisamos onze

iniciativas internacionais de cidades inteligentes e onze projetos científicos para a criação de plataformas de software para cidades inteligentes. Descrevemos as tecnologias mais utilizadas por esses projetos e seus requisitos funcionais e não-funcionais. Finalmente, apresentamos os desafios de pesquisa ainda em aberto e discutimos a nossa visão para a área no futuro.

1.1. Introdução

Desde 2009, a maior parte da população mundial vive em cidades (United Nations 2009) e a infraestrutura e os recursos existentes nessas cidades muitas vezes não são suficientes para comportar o crescimento e a concentração da população. Uma forma de enfrentar esse problema é tornando as cidades mais inteligentes, otimizando o uso dos seus recursos e infraestrutura de uma forma sustentável e melhorando a qualidade de vida de sua população. Para atingir esse objetivo, tecnologias de informação e comunicação (TIC) podem ser empregadas para coletar e analisar uma grande quantidade de informações geradas por diversas fontes de dados da cidade como, por exemplo, redes de sensores, sistemas de trânsito e dispositivos dos cidadãos. Esses dados podem ser utilizados de formas inovadoras e criativas para a criação de aplicações integradas que melhorem os serviços da cidade e o uso de seus recursos. Entretanto, usar todos os dados de uma forma efetiva e eficiente é um desafio bastante complexo.

Neste capítulo serão mostradas aplicações e serviços de Cidades Inteligentes desenvolvidas em uma grande variedade de cenários, como por exemplo na melhoria e monitoramento do trânsito (Djahel et al. 2014; Barba et al. 2012), no monitoramento das condições da cidade (Vakali et al. 2014), para o controle de multidões (Franke et al. 2015), para o monitoramento do sistema de coleta de lixo (Perera et al. 2014), em sistemas de saúde (Hussain et al. 2015), de segurança pública (Galache et al. 2014) e o gerenciamento de recursos como água (Pérez-González and Díaz-Díaz 2015) e energia elétrica (Yamamoto et al. 2014).

Um problema na maioria das aplicações de cidades inteligentes, é que normalmente os sistemas são direcionados a um problema específico e são desenvolvidos sempre desde o início com pouco reuso de software e sem a comunicação entre esses sistemas. Essa abordagem leva a um maior trabalho, ao uso não otimizado dos recursos e impede a criação de aplicações que necessitem de dados e serviços de diversos domínios, o que é uma das principais características de cidades inteligentes.

Para resolver os problemas de integração entre as aplicações, uma das abordagens mais utilizadas tanto em pesquisas acadêmicas como em experimentos já realizados em algumas cidades é a utilização de uma plataforma de software que oferece diversos mecanismos e características não-funcionais para a utilização dos dados e serviços da cidade de uma forma integrada e com o objetivo de facilitar a implementação de aplicações de Cidades Inteligentes para cidadãos e administradores da cidade.

No entanto, muitos desafios técnicos e de pesquisa ainda precisam ser resolvidos antes que ambientes de Cidades Inteligentes eficazes e robustos sejam completamente desenvolvidos. Alguns dos maiores desafios são: permitir a interoperabilidade entre os diversos componentes da cidade, garantir a privacidade e a segurança dos cidadãos e sistemas da cidade, gerenciar o armazenamento e o processamento de grandes quantidades

de dados, oferecer a escalabilidade necessária para o aumento da população da cidade e lidar com a heterogeneidade de dispositivos como sensores e *smartphones*.

Este capítulo tem o objetivo de apresentar o conceito de Cidades Inteligentes, apontando as definições mais aceitas na literatura e discutindo as tecnologias necessárias para o desenvolvimento de cidades inteligentes. Depois serão descritas iniciativas realizadas em algumas cidades ao redor do mundo e projetos de pesquisa para a implementação de plataformas de software para Cidades Inteligentes incluindo os desafios técnicos e de pesquisa que ainda precisam ser resolvidos.

O restante deste capítulo está organizado da seguinte maneira, a Seção 1.2 discute as mais citadas definições de cidades inteligentes. A Seção 1.3 apresenta as principais tecnologias utilizadas para a implantação de cidades inteligentes. A Seção 1.4 apresenta diversas iniciativas de cidades inteligentes ao redor do mundo. A Seção 1.5 descreve plataformas de cidades inteligentes desenvolvidas em projetos de pesquisa e comerciais. A Seção 1.6 apresenta os requisitos identificados a partir das plataformas e iniciativas analisadas. A Seção 1.7 apresenta uma arquitetura de referência derivada a partir dos requisitos. A Seção 1.8 lista os principais desafios técnicos e de pesquisa para a criação de cidades inteligentes. A Seção 1.9 discute as implicações de Cidades Inteligentes para os diferentes papéis da cidade. Finalmente, a Seção 1.10 aponta as conclusões deste capítulo.

1.2. Definições de Cidades Inteligentes

Nesta seção serão apresentadas e discutidas diversas definições de Cidades Inteligentes encontradas na literatura. Essas definições consideram desde as mudanças sociais esperadas com Cidades Inteligentes como o empoderamento e a melhora na qualidade de vida da população até o uso de TICs para a melhora na infraestrutura e nos serviços da cidade e na otimização do uso dos recursos da cidade.

A Tabela 1.1 apresenta diversas definições de cidades inteligentes. A maioria dessas definições citam explicitamente que o objetivo de uma cidade inteligente é a melhoria da qualidade de vida do cidadão. Algumas definições (Giffinger et al. 2007; Guan 2012) não estabelecem por qual meio isso deve ser alcançado, enquanto outras definem que isso será alcançado através da construção de uma infraestrutura tecnológica para melhorar os serviços da cidade (Caragliu et al. 2011; Dameri 2013; Harrison et al. 2010).

A maioria das definições citam a necessidade do uso de tecnologia da informação para otimizar o uso da infraestrutura da cidade, o gerenciamento dos recursos e os serviços da cidade (Harrison et al. 2010; Washburn et al. 2009). Algumas dessas definições ainda adicionam a necessidade do desenvolvimento sustentável da cidade, com a melhoria no uso de recursos como água e energia elétrica (Caragliu et al. 2011; Dameri 2013).

Um aspecto relevante é a necessidade de uma cidade inteligente facilitar também o crescimento econômico da cidade (Dameri 2013) possibilitando a inclusão e participação de toda a população na sociedade. Duas definições (Dameri 2013; Giffinger et al. 2007) citam a participação da sociedade na decisão dos governos através de governos participativos. Outras questões importantes levantadas pelas definições, é o monitoramento da infraestrutura da cidade, como ruas, pontes, linhas de trem (Hall et al. 2000), o monitoramento do uso de recursos como água e energia elétrica (Hall et al. 2000) e a integração

Tabela 1.1. Definições de Cidades Inteligentes

Definição	Autor
“A Smart City is a city well performing built on the ‘smart’ combination of endowments and activities of self-decisive, independent and aware citizens”	(Giffinger et al. 2007)
“A city to be smart when investments in human and social capital and traditional (transport) and modern (ICT) communication infrastructure fuel sustainable economic growth and a high quality of life, with a wise management of natural resources, through participatory governance”	(Caragliu et al. 2011)
“A smart city is a well-defined geographical area, in which high technologies such as ICT, logistic, energy production, and so on, cooperate to create benefits for citizens in terms of well-being, inclusion and participation, environmental quality, intelligent development; it is governed by a well-defined pool of subjects, able to state the rules and policy for the city government and development”	(Dameri 2013)
“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”	(Hall et al. 2000)
“A city connecting the physical infrastructure, the IT infrastructure, the social infrastructure, and the business infrastructure to leverage the collective intelligence of the city”	(Harrison et al. 2010)
“A smart city, according to ICLEI, is a city that is prepared to provide conditions for a healthy and happy community under the challenging conditions that global, environmental, economic and social trends may bring.”	(Guan 2012)
“The use of Smart Computing technologies to make the critical infrastructure components and services of city which include city administration, education, healthcare, public safety, real estate, transportation, and utilities more intelligent, interconnected, and efficient”	(Washburn et al. 2009)

entre todos os serviços da cidade (Harrison et al. 2010; Washburn et al. 2009).

Além das definições apresentadas anteriormente, Giffinger et al. (Giffinger et al. 2007) descreve seis dimensões para verificar o quão inteligente é uma cidade, que são: *Smart Economy*, *Smart People*, *Smart Governance*, *Smart Mobility*, *Smart Environment* e *Smart Living*, os quais traduzimos livremente como economia, população, governança, mobilidade, meio-ambiente e vida inteligentes. Muitos autores aceitam essa classificação (Hernández-Muñoz et al. 2011; Papa et al. 2013) e há ainda um *benchmark* desenvolvido para classificar as cidades mais inteligentes da Europa usando essas dimensões ¹. Essas dimensões são definidas da seguinte forma:

- **Economia Inteligente** mede o quão bem preparada economicamente uma cidade está, utilizando parâmetros como qualidade das empresas instaladas e o seu ambiente para empreendedorismo. Algumas ações desenvolvidas relacionadas a esta dimensão são incentivos a empresas para o desenvolvimento de soluções tecnológicas para a cidade e a melhoria do ambiente de negócios com legislação adequada à inovação e infraestrutura para negócios.
- **População Inteligente** mede o desenvolvimento da população da cidade usando parâmetros como educação, emprego e renda. Algumas ações relacionadas a esta dimensão são projetos para inclusão digital dos cidadãos e programas de educação científica e tecnológica.
- **Governança Inteligente** mede o qualidade e transparência dos órgãos públicos municipais com parâmetros como facilidade no uso dos serviços públicos, investimentos em tecnologia e transparência nos dados e no uso de recursos da cidade. Algumas ações relacionadas a esta dimensão são a criação de governos participativos e a divulgação de informações sobre a cidade em portais de transparência e de dados abertos.
- **Mobilidade Inteligente** mede a facilidade da mobilidade na cidade nos diversos modais de transporte como ônibus, metrô, carro e bicicleta. Usa parâmetros como quilômetros de congestionamento, tamanho da malha metroviária e quantidade de pessoas que usam transporte público ou não-poluente. Algumas ações relacionadas a esta dimensão são o monitoramento em tempo real do fluxo nas vias da cidade, o uso de sensores para indicar vagas de estacionamento livres e aplicações para facilitar e incentivar o uso de transporte público e sustentável, tais como bicicletas.
- **Meio-Ambiente Inteligente** mede a sustentabilidade na cidade usando parâmetros como poluição ambiental, eficiência no uso de recursos como água e energia elétrica e a quantidade de lixo reciclado. Algumas ações relacionadas a esta dimensão são a medição da qualidade do ar e água da cidade, o uso de fontes renováveis de energia e a medição em tempo real dos recursos utilizados em residências.
- **Vida Inteligente** mede a qualidade de vida da população usando parâmetros como entretenimento, segurança e cultura como quantidade de áreas verdes, número de

¹ Smarts Cities in Europe - <http://www.smart-cities.eu>

bibliotecas e taxa de homicídios da cidade. Algumas ações relacionadas a esta dimensão são o uso de aplicações para o acompanhamento da saúde de idosos, o processamento automático de imagens de câmeras de segurança e aplicativos que mostram os eventos culturais programados na cidade.

Atualmente a expressão Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) está bem estabelecido, porém existem algumas outras expressões que também indicam características similares à ideia de Cidades Inteligentes. Algumas dessas expressões são: Cidades Digitais (*Digital City*), Cidades do Conhecimento (*Knowledge City*) e Cidades Conectadas (*Wired City*).

Neste capítulo apenas a expressão Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) foi considerado, isso porque, atualmente ele é o mais utilizado, como mostra a Figura 1.1 gerada pela ferramenta Google Trends², a qual mostra a quantidade de buscas feitas por cada expressão. Além disso, essa expressão é a única que claramente define que a cidade deve disponibilizar serviços integrados aumentando a inteligência da cidade para melhorar a qualidade de vida do cidadão.

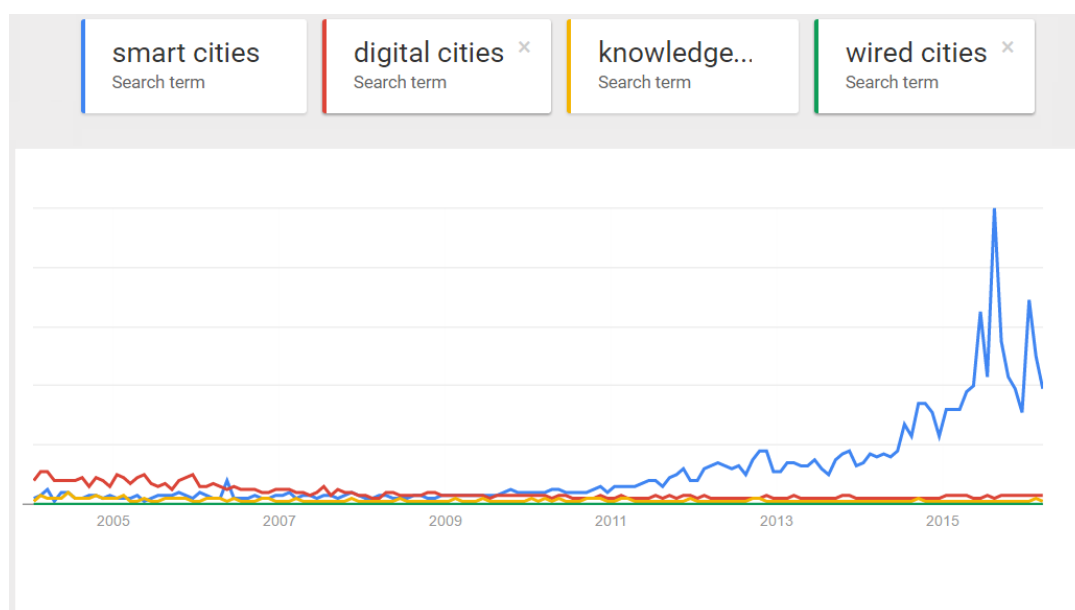


Figura 1.1. Pesquisas relacionados a expressões relacionadas a Cidades Inteligentes

As expressões Cidades Digitais e Cidades Conectadas estão relacionadas ao fornecimento de serviços digitais aos cidadãos utilizando uma infraestrutura de TI, mas sem necessariamente a integração entre os diversos tipos de aplicações e domínios que podem existir em uma cidade. A expressão Cidade do Conhecimento, além de ser pouco usado, está relacionado mais ao domínio da educação, tendo o objetivo de empoderar o cidadão através da educação. Dois trabalhos apresentam uma discussão sobre essas diferentes expressões (Cocchia 2014; Yin et al. 2015).

Existem iniciativas em diversas cidades ao redor do mundo, a maioria na Europa

²Google Trends - <https://www.google.com/trends/>

(Caragliu et al. 2011; Manville et al. 2014), diversas nos Estados Unidos ³, Japão e China (Liu and Peng 2013) e alguns projetos em outras partes do mundo como Brasil (Fortes et al. 2014), Emirados Árabes (Janajreh et al. 2013) e Coreia do Sul (Kshetri et al. 2014). Esses dados mostram que a grande maioria dos projetos estão concentrados em países desenvolvidos, existem alguns poucos projetos em países em desenvolvimento. Nenhum projeto foi encontrado nos países mais pobres do globo. A Figura 1.2 mostra um mapa com as iniciativas encontradas na literatura ou páginas dos projetos.



Figura 1.2. Iniciativas de Cidades Inteligentes ao redor do mundo.

Na Seção 1.4 deste capítulo serão apresentadas algumas dessas iniciativas de Cidades Inteligentes selecionadas pela qualidade e pela quantidade de informações encontradas sobre o projeto.

1.3. Tecnologias e Conceitos

Apresentamos agora as principais tecnologias usadas na criação da infraestrutura de uma cidade inteligente, i.e., (1) Internet das Coisas, para possibilitar a conexão de diversos dispositivos na rede da cidade como sensores, sinais de trânsito e dispositivos de usuários; (2) Big Data, viabilizando o armazenamento e o processamento de grandes quantidades de dados coletados na cidade e (3) Computação em Nuvem, fornecendo um ambiente escalável e elástico que suporte a grande demanda de recursos computacionais necessários em uma cidade inteligente.

1.3.1. Internet das Coisas

A Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT) é a conexão de objetos do cotidiano, tais como lâmpadas para iluminação pública, semáforos de trânsito, sensores de qualidade de água e ar, câmeras de vídeo, etc. à rede Internet. Os objetos devem ser identificados com um nome único, sua posição e estado conhecidos, e devem ser acessíveis por meio de uma rede interoperável (Coetsee and Eksteen 2011).

³10 Smartest Cities in USA - <http://www.fastcoexist.com/3021592/the-10-smartest-cities-in-north-america>

Podem haver uma grande variedade de “Coisas” conectadas em um sistema de IoT, desde celulares, relógios e computadores até veículos e geladeiras. O *Cluster of European Research Projects on IoT* (Sundmaeker et al. 2010) define “Coisas” como participantes ativos da rede que são capazes de interagir e comunicar-se com outros elementos da rede e com o ambiente. Essa comunicação ocorre para a troca de dados e informações sobre o ambiente. A Internet das Coisas conecta o mundo digital e físico adicionando serviços e inteligência para a internet sem a intervenção direta de seres humanos. Podemos destacar três componentes principais em um sistema de IoT: (1) o hardware, como sensores, atuadores e aparelhos de comunicação; (2) o middleware para o processamento e armazenamento dos dados capturados pelo hardware e (3) uma camada de apresentação na qual usuários ou administradores do sistema podem acessar, manipular e analisar os dados (Gubbi et al. 2013).

A Internet das Coisas é bastante adequada para o gerenciamento dos milhares de dispositivos que estarão conectados em uma cidade inteligente. Assim, os dados coletados na cidade são enviados para as plataformas de software ou para as aplicações para que sejam armazenados e processados possibilitando a criação de serviços inovadores para a cidade.

Diversas iniciativas de Cidades Inteligentes usam IoT para a manutenção e gerenciamento dos dispositivos da cidade, como por exemplo o SmartSantander (Sanchez et al. 2014) que já possui mais de 20 mil sensores instalados na cidade de Santander, o Padova Smart City (Zanella et al. 2014), que possui mais de 300 sensores instalados e o *Array of Things*, que está instalando uma grande rede de sensores na cidade de Chicago.

A Internet das Coisas possui uma enorme quantidade de aplicações potenciais em Cidades Inteligentes. Alguns exemplos são: monitoramento da estrutura de prédios históricos, detecção se latas de lixo estão cheias, monitoramento de barulho perto de áreas críticas como escolas e hospitais, monitoramento das condições de semáforos e lâmpadas de iluminação pública e o monitoramento do uso de energia elétrica e água em Casas Inteligentes (Zanella et al. 2014).

1.3.2. Big Data

A expressão *Big Data* se refere a um conjunto de técnicas e ferramentas para o armazenamento e manipulação de conjuntos de dados muito grandes, onde tecnologias tradicionais, como bancos de dados relacionais e ferramentas de processamento sequencial, não suportam o vasto volume de dados (Chen et al. 2014; Demchenko et al. 2014). Big Data possui quatro características marcantes ilustradas na Figura 1.3:

- **Volume:** a quantidade de dados gerados e coletados em diversos tipos de aplicações está aumentando exponencialmente e as ferramentas de Big Data devem ser capazes de lidar apropriadamente com esse desafio.
- **Variedade:** os dados podem ser coletados de diferentes fontes e com diferentes formatos e estruturas; como dados estruturados como os dados dos cidadãos, dados semi-estruturados como os dados de sensores e os dados não-estruturados como câmaras de vídeo de segurança e de trânsito.

- **Velocidade:** o processamento de dados deve ser rápido e, em muitos casos, em tempo real, ou esses dados podem se tornar inúteis como dados coletados de sensores de veículos, a análise de redes sociais e informações sobre o trânsito da cidade.
- **Veracidade:** como os dados serão coletados de múltiplas fontes de dados, é importante garantir a qualidade desses dados, utilizando fontes confiáveis e consistentes. Isso é importante para evitar erros comprometendo a análise dos dados.

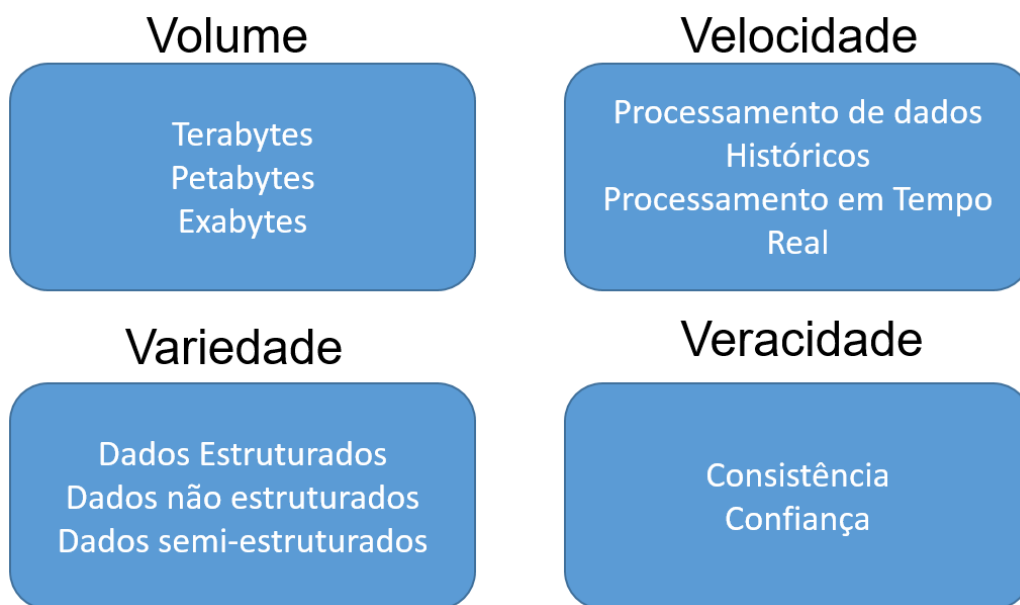


Figura 1.3. 4 Vs de Big Data

Big Data não é apenas uma estrutura de armazenamento moderna e escalável como bancos de dados NoSQL, ou ferramentas de processamento paralelo poderosas como o Hadoop (Polato et al. 2014; Goldman et al. 2012), mas sim a transformação de todo o ciclo de vida dos dados dentro de um aplicação, para suportar a coleta, armazenamento, processamento, análise e visualização de grandes conjuntos de dados.

No contexto de cidades inteligentes, ferramentas de Big Data estão sendo empregadas para permitir o gerenciamento da grande quantidade de dados gerados nas cidades. Por exemplo, dados que são gerados por sensores periodicamente sobre as condições da cidade como temperatura, qualidade do ar e pluviometria, dados gerados por cidadãos através de telefones celulares e redes sociais e veículos como ônibus que podem enviar periodicamente sua posição e velocidade para aplicações.

Muitas ferramentas de Big Data já estão sendo usadas por iniciativas e plataformas de software para cidades inteligentes. Algumas dessas ferramentas são bancos de dados NoSQL (Khan et al. 2013; Bain 2014) como o MongoDB e o HBase, ferramentas de processamento paralelo (Parkavi and Vetrivelan 2013; Takahashi et al. 2012) como o Apache Hadoop e o Apache Spark, processadores de fluxos de dados em tempo real (Girtelschmid et al. 2013) como o Apache Storm e ferramentas de visualização de dados (Khan et al. 2013) como o RapidMiner.

Os bancos de dados NoSQL são utilizados principalmente para armazenar dados não estruturados da cidade, como por exemplo leituras de sensores e posições de veículos. Ferramentas de processamento paralelo são utilizadas para o processamento de grandes conjuntos de dados, e são utilizados tanto para processamento de dados históricos com o Hadoop ou Spark quanto para processamento em tempo-real de grandes fluxos de dados também com o Spark e o Storm.

Há inúmeras possibilidades de aplicação de tecnologias e ferramentas de Big Data em cidades inteligentes. Podemos citar como exemplos o reconhecimento de padrões em trânsito usando dados históricos para descobrir as causas e evitar congestionamentos, facilitar as decisões de administradores da cidade usando análises sobre grandes conjuntos de dados, prever a quantidade de energia elétrica utilizada em diferentes dias e horários utilizando dados históricos e fluxos de dados em tempo real, prever a demanda do uso de transporte público utilizando dados históricos sobre a venda de passagens e detectar automaticamente problemas de segurança pública utilizando fluxos de dados de sensores e redes sociais (Al Nuaimi et al. 2015).

1.3.3. Computação em Nuvem

A Computação em Nuvem oferece uma infraestrutura elástica, robusta e altamente disponível para o armazenamento e processamento de dados, o que é essencial para aplicações de Cidades Inteligentes. Adicionalmente, uma cidade inteligente pode ser altamente dinâmica, requerendo reconfigurações automáticas de sua infraestrutura, o que é também facilitado pela computação em nuvem.

Alguns autores (Distefano et al. 2012; Aazam et al. 2014) descrevem um novo paradigma a partir da combinação da Computação em Nuvem e da Internet das Coisas, chamando-o de “Cloud of Things”. A ideia é armazenar e processar todos os dados coletados de uma rede IoT em um ambiente de Computação em Nuvem, o que já é realizado em diversas iniciativas de cidades inteligentes (Mitton et al. 2012; Tei and Gurgun 2014).

Outro conceito relacionado ao uso da Computação em Nuvem em Cidades Inteligente é o Software como Serviço (Software as a Service - SaaS) (Fox et al. 2013). Perera et al. estendem esse conceito, usando a expressão “Sensing as a Service” (Perera et al. 2014). O objetivo é fornecer a aplicações e serviços os dados de sensores em uma infraestrutura de Computação em Nuvem. A plataforma ClouT também usa esse conceito e define as expressões *City Application Software as a Service* (CSaaS) e *City Platform as a Service* (CPaaS) disponibilizando todas as funcionalidades da plataforma como serviços em um ambiente de Computação em Nuvem (Tei and Gurgun 2014).

Resumindo, Computação em Nuvem é ideal para fornecer a infraestrutura para armazenar e executar os serviços de uma cidade. Os dados podem ser colhidos por uma rede implantada com as ideias de Internet das Coisas e enviadas para a infraestrutura de Computação em Nuvem, onde os dados podem ser processados utilizando ferramentas de Big Data. Essa combinação ajuda a oferecer diversos requisitos não-funcionais importantes como escalabilidade, elasticidade e segurança (Chen et al. 2014; Aazam et al. 2014).

1.4. Iniciativas de Cidades Inteligentes

Nesta seção, apresentamos iniciativas e experimentos de cidades inteligentes realizados em cidades em diversos países ao redor do mundo. Alguns exemplos dessas cidades são: (1) Santander, cidade Espanhola que, utilizando a plataforma SmartSantander, realizou diversos experimentos de aplicações e serviços para o cidadão, (2) Barcelona, também na Espanha, que utiliza serviços inteligentes para a coleta de lixo e a utilização de carros elétricos, (3) Amsterdã na Holanda, onde foram desenvolvidos diversos projetos na área de trânsito, de monitoramento da cidade e apoio a realização de grandes eventos e (4) Chicago, nos Estados Unidos, que através da plataforma WindyGrid coleta diversos dados gerados na cidade, como ligações de emergência e dados de trânsito, para o monitoramento da cidade.

1.4.1. Santander

Santander é uma cidade no norte da Espanha, capital da Cantábria e tem uma população de aproximadamente 180 mil habitantes. Nela foi implantada um projeto experimental, para o desenvolvimento de uma plataforma de cidade inteligente, chamado SmartSantander (Sanchez et al. 2014) financiado pela *European Comission*.

Para esse projeto, foi implantada uma rede de mais de 20 mil sensores e atuadores na cidade que coletam uma grande quantidade de dados em diversas regiões da cidade, como temperatura, espaços livres de estacionamento, identificadores de pontos de interesse e luminosidade. Além dos sensores, a plataforma também coleta dados de ônibus, caminhões de lixo e táxis utilizando dispositivos móveis instalados nos veículos. A Figura 1.4 mostra um mapa no qual cada ponto é uma elemento da cidade que envia dados para a plataforma.

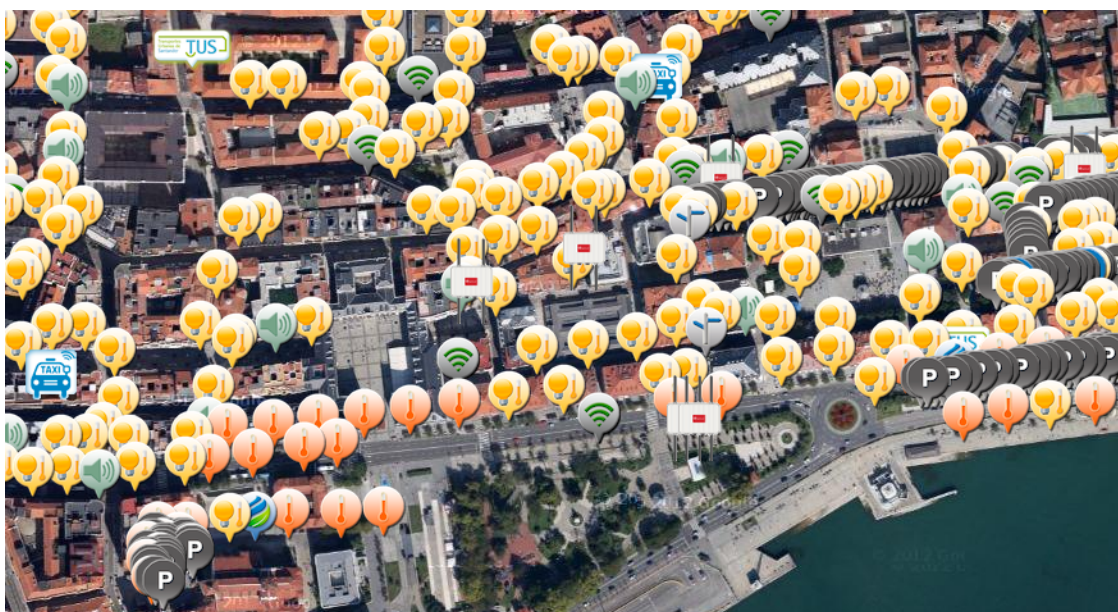


Figura 1.4. Mapa dos elementos da plataforma Smart Santander

A plataforma SmartSantander foi utilizada para o desenvolvimento de vários projetos como, por exemplo, para mostrar para os usuários os lugares livres para estaciona-

mento na cidade e também para prever a utilização desses lugares em eventos na cidade (Vlahogianni et al. 2014).

Foi desenvolvida também uma aplicação de realidade aumentada⁴ para dispositivos móveis que contém informação de mais de 2700 pontos de interesse da cidade como museus, livrarias, pontos de ônibus, oficinas de turismo e estações de aluguel de bicicletas, além de mostrar em tempo real a posição de ônibus e taxis.

1.4.2. Barcelona

Barcelona é uma cidade Espanhola, capital da região da Catalunha, e tem uma população de aproximadamente 4,7 milhões de habitantes. O projeto BCN Smart City⁵ desenvolve diversas iniciativas científicas e comerciais para tornar a cidade mais inteligente. Alguns exemplos de projetos são a implantação de uma rede de sensores para notificar quando as lixeiras da cidade estão cheias, o desenvolvimento de *dashboards* para o monitoramento das condições da cidade e um portal de dados abertos da cidade que podem ser utilizados para a implementação de aplicações e serviços para os cidadãos.

A cidade de Barcelona também está desenvolvendo projetos para incentivar o uso de formas sustentáveis de transporte, como um projeto para estimular o uso de carros elétricos, no qual mais de 300 pontos de recarga de carros foram instalados na cidade e o projeto para o uso de bicicletas compartilhadas que conta com mais de 420 estações para o empréstimo de bicicletas.

Outro aspecto interessante, é a liberação de diversos dados para que a população possa acompanhar e fiscalizar o poder público. O portal de dados abertos da cidade⁶ disponibiliza uma grande quantidade de dados da administração pública como orçamento e despesas, dos serviços oferecidos pela cidade e dados sobre a população da cidade.

Além das aplicações apresentadas, a prefeitura da cidade de Barcelona patrocinou o desenvolvimento da plataforma Sentilo (Bain 2014), que é responsável pela administração, monitoramento e coleta de dados de diversos sensores espalhados pela cidade. Alguns exemplos de sensores utilizados nessa plataforma são: sensores que indicam a utilização de lixeiras na cidade, mapeamento dos pontos de acesso a internet, sensores de luminosidade e de temperatura. Depois de concluída a implementação da plataforma, o código fonte foi liberado sob a licença LGPL3⁷. A Figura 1.5 mostra uma tela da plataforma com alguns dos sensores implantados na cidade.

1.4.3. Amsterdã

Amsterdã é a capital da Holanda e tem uma população de aproximadamente 2,5 milhões de habitantes. Nessa cidade, estão sendo realizados diversos projetos e experimentos para tornar a cidade mais inteligente e aumentar a qualidade de vida da população. Essas iniciativas contam com a colaboração do governo, universidades, empresas e da população da cidade. Existem projetos em diversos domínios de aplicações como *Smart Grids*, trânsito, redução da emissão de poluentes e no sensoriamento da cidade.

⁴SmartSantanderRA - <https://play.google.com/store/apps/details?id=es.unican.tlmat.smartsantanderra>

⁵BCN Smart City - <http://smartcity.bcn.cat/en>

⁶OpenData BCN - <http://opendata.bcn.cat/opendata/ca>

⁷Sentilo - <https://github.com/sentilo/sentilo>

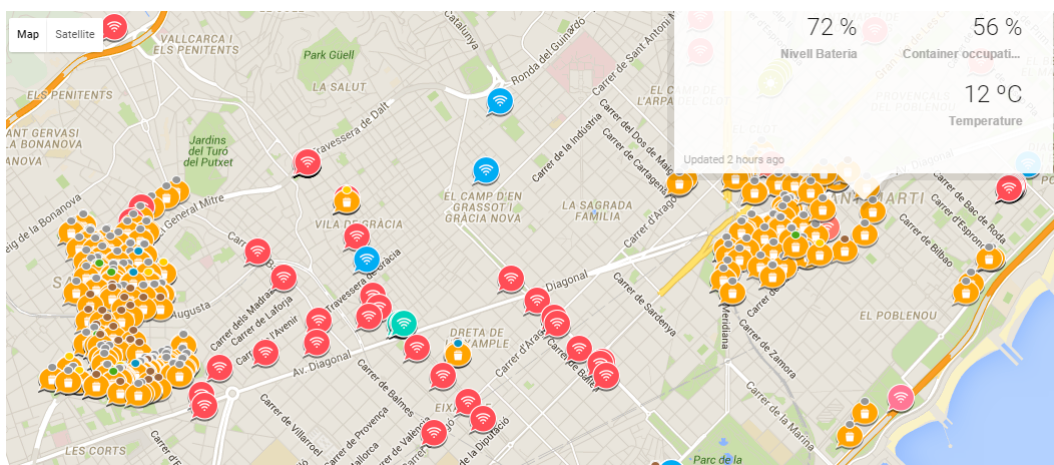


Figura 1.5. Sensores implantados com a plataforma Sentilo

O primeiro *Smart Electricity Grid* da Holanda está sendo implantado em uma região da cidade com aproximadamente 10 mil habitações. Nessa rede é possível que os usuários consumam e produzam energia e que possam acompanhar em tempo real o uso de energia em suas casas. Além disso, esse projeto também facilita o monitoramento e manutenção da rede pelas autoridades da cidade.

Na área de controle e monitoramento de trânsito, alguns projetos interessantes que estão sendo realizados na cidade são: o incentivo ao uso de carros elétricos, disponibilizando estações de recarga de bateria em várias partes da cidade, o monitoramento das principais vias da cidade para o rápido atendimento de problemas no trânsito, a reserva de vagas de estacionamento na cidade, evitando a busca por uma vaga, diminuindo a emissão de CO_2 e o incentivo ao uso de bicicletas.

Existem ainda diversos projetos para aumentar a transparência dos gastos e ações dos administradores da cidade, entre eles o *Budget Monitoring* que permite que cidadãos e entidades acessem e façam sugestões para o orçamento da cidade, o *Smart City SDK*, que permitem desenvolvedores de aplicações utilizem os dados coletados na cidade em tempo real como dados de trânsito, chegadas e partidas de aviões e o clima e o *AmsterdamOpent* que é uma plataforma para que cidadãos façam sugestões para os governantes da cidade.

Outro projeto interessante, é o *CitySDK Tourism API* (Pereira et al. 2015), uma ferramenta que permite o desenvolvimento de aplicações para ajudar os turistas que visitam a cidade. Essa ferramenta coleta os dados do portal de dados abertos da cidade, que estão em arquivos difíceis de serem processados por computadores como CSV, XLS e arquivos texto e os disponibiliza em uma API de fácil acesso e processamento para as aplicações. Alguns dos dados compartilhados são os pontos de interesse da cidade como museus, parques e construções históricas, eventos que estão acontecendo na cidade e itinerários turísticos.

1.4.4. Chicago

O *WindyGrid* (Thornton 2013) é uma plataforma que tem o objetivo de coletar, armazenar e processar os dados da cidade. Com isso, é possível visualizar as operações da cidade

de forma unificada utilizando dados em tempo real e dados históricos. Essa ferramenta é uma iniciativa da administração municipal de Chicago nos Estados Unidos.

Alguns dos dados coletados da cidade são estáticas e eventos sobre o trânsito da cidade, ligações de telefones de emergência (911), dados sobre edifícios públicos e publicações sobre a cidade em redes sociais como o Twitter. Na implementação da plataforma foram utilizadas ferramentas de Big Data como o banco de dados NoSQL MongoDB e ferramentas de processamento paralelo.

A plataforma disponibiliza três funções principais para os administradores da cidade: monitoramento de incidentes utilizando dados das ligações de emergência e de redes sociais; visualização de dados históricos, no qual o usuário pode ver todos os dados relacionados a um mesmo evento; e a análise de dados avançados em tempo real, na qual são mostrados, em um mapa da cidade, eventos que estão ocorrendo na cidade utilizando diversas fontes de dados.

Além da plataforma WindyGrid, Chicago possui um completo portal de dados abertos⁸ com milhares de fontes de dados sobre a cidade como por exemplo, o nome, salário e cargo de todos os funcionários da administração municipal, registro de ocorrências policiais, mapa veículos abandonados e dados censitários da população da cidade.

1.4.5. Outras Iniciativas de Cidades Inteligentes

Búzios, no estado do Rio de Janeiro, é uma das primeiras cidades do Brasil a (Fortes et al. 2014) iniciar um projeto para a implantação de uma infraestrutura de Cidade Inteligente. O projeto tem três objetivos principais, tornar a cidade mais sustentável, com uso mais racional dos recursos e com mais eficiência. Entre as principais ações realizadas na cidade estão a implantação de uma rede de energia elétrica inteligente, a criação de prédios inteligentes, onde seja possível monitorar o uso de recursos de casas e edifícios públicos e comerciais e a melhoria dos sistemas de comunicação da cidade utilizando tecnologias de comunicação como Wi-Fi, redes Mesh e pelas linhas de energia (Power Lines Communication - PLC).

Em Dublin, na Irlanda, existem dois projetos principais para tornar a cidade mais inteligente. O primeiro é a plataforma de dados abertos Dublinked (Stephenson et al. 2012) que possibilita a cidadãos, empresas e pesquisadores o acesso a mais de 200 conjuntos de dados, entre eles dados em tempo real das posições dos ônibus, monitoramento da cidade e de estações de aluguel de bicicleta. O segundo, é um conjunto de dashboards⁹ que disponibiliza diversas informações como temperatura, qualidade do ar níveis de ruído e nível dos rios em diversas partes da cidade.

Manchester, na Inglaterra, possui diversos projetos para tornar a cidade mais inteligente com três objetivos principais: engajar a população na tomada de decisões da cidade, aumentar a quantidade de empregos através da educação e criar serviços digitais inovadores para a população através de uma moderna infraestrutura tecnológica (Manville et al. 2014). O principal projeto sendo desenvolvido na cidade é o de construção de casas inteligente, na qual os moradores podem verificar em tempo real o uso de recursos

⁸Chicago Data Portal - <https://data.cityofchicago.org>

⁹Dublin DashBoards - <http://www.dublindashboard.ie/>

utilizados como energia elétrica e água. O objetivo desse projeto é diminuir a quantidade das emissões de carbono na cidade e na economia de recursos naturais.

O projeto *Intelligent Thessaloniki* (Komninos and Tsarchopoulos 2013) desenvolve diversos projetos na cidade de Thessalonica, Grécia, com o objetivo de implementar redes sem fim, espaços urbanos inteligentes, aplicações na Internet e serviços digitais para facilitar a vida dos cidadãos. Nesse projeto a cidade foi dividida em 5 distritos, e em cada um deles são testados diferentes projetos ligados a comunidade local, como por exemplo, na região portuária foram implantados projetos para melhoria do trânsito, na região central projetos para melhoria dos negócios e para o treinamento dos cidadãos nos serviços digitais e na região da universidade, projetos para melhoria de educação e para a criação de *startups*.

Seattle é considerada por alguns rankings a cidade mais inteligente dos Estados Unidos¹⁰. Nessa cidade foi realizada uma pesquisa (AlAwadhi and Scholl 2013) com cidadãos e agentes públicos questionando quais os principais serviços, aplicações e iniciativas que estão sendo desenvolvidas para a melhoria da qualidade de vida da população da cidade e quais os seus maiores benefícios. Entre os projetos citados estão o portal de dados abertos da cidade¹¹, a infraestrutura para apoiar o uso de carros elétricos e a instalação de um CRM (*Customer Relationship Management*) para controlar a comunicação de cidadãos com a prefeitura. A maioria dos benefícios apontados na adoção desses projetos são a melhoria dos serviços da cidade, a diminuição de custos, o aumento na eficiência e a economia de energia elétrica.

Masdar é um bairro na cidade de Abu Dhabi, nos Emirados Árabes Unidos que está sendo construído com o objetivo de testar diversas iniciativas de Cidades Inteligentes, principalmente no uso de fontes energéticas renováveis, no uso consciente de água e na redução da quantidade de lixo gerado. Além disso, a cidade foi planejada com uma rede de transporte inteligente para reduzir a necessidade do uso de veículos individuais, diminuindo a emissão de poluentes. Nesse bairro, todas as construções são projetadas de forma que economizem os recursos e produzam a própria energia com o uso de painéis solares.

Em São Paulo, diversas iniciativas estão sendo tomadas para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, como por exemplo, a criação de faixas exclusivas de ônibus e de ciclovias, o incentivo ao uso e compartilhamento de bicicletas e a criação de laboratórios de inovação para buscar maneiras criativas de utilizar a tecnologia da informação para resolver problemas da cidade. Entre os projetos desenvolvidos recentemente na cidade, encontram-se: o portal de dados abertos da cidade¹², o GeoSampa¹³, que disponibiliza diversos dados cartográficos da cidade como a localização dos equipamentos públicos, pontos de ônibus, árvores, feiras livres, pontos de alagamento, etc. e a API Olho Vivo¹⁴, que permite a descoberta em tempo real da posição de todos os ônibus da cidade, informação esta que permitiu o desenvolvimento de vários aplicativos móveis oferecendo

¹⁰<http://www.fastcoexist.com/3021592/the-10-smartest-cities-in-north-america>

¹¹data.seattle.gov - <https://data.seattle.gov/>

¹²Dados Abertos São Paulo - <http://saopauloaberta.prefeitura.sp.gov.br/>

¹³GeoSampa - <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/>

¹⁴API Olho Vivo - <http://www.sptrans.com.br/desenvolvedores/APIOlhoVivo.aspx>

informações sobre o transporte público na cidade.

1.5. Plataformas de Cidades Inteligentes

Nesta seção serão apresentadas diversos projetos de pesquisa para o desenvolvimento de plataformas de software para cidades inteligentes que utilizam as tecnologias descritas na seção 1.4. O objetivo da maioria dessas plataformas é oferecer de forma integrada diversos requisitos funcionais e não-funcionais para facilitar a implementação de aplicações de cidades inteligentes.

1.5.1. OpenIoT

O OpenIoT é uma plataforma para suportar a criação de aplicações baseadas na Internet das Coisas, essa plataforma é utilizada no projeto Vital (Petrolo et al. 2014) para a implantação de um ambiente de Cidades Inteligentes em diversas cidades da Europa como Londres, Turim e Madrid. A Figura 1.6 apresenta uma visão geral da arquitetura dessa plataforma, a qual possui três planos: o **Plano Físico**, o *Plano Virtualizado* e o *Plano de Utilidades e Aplicações*.

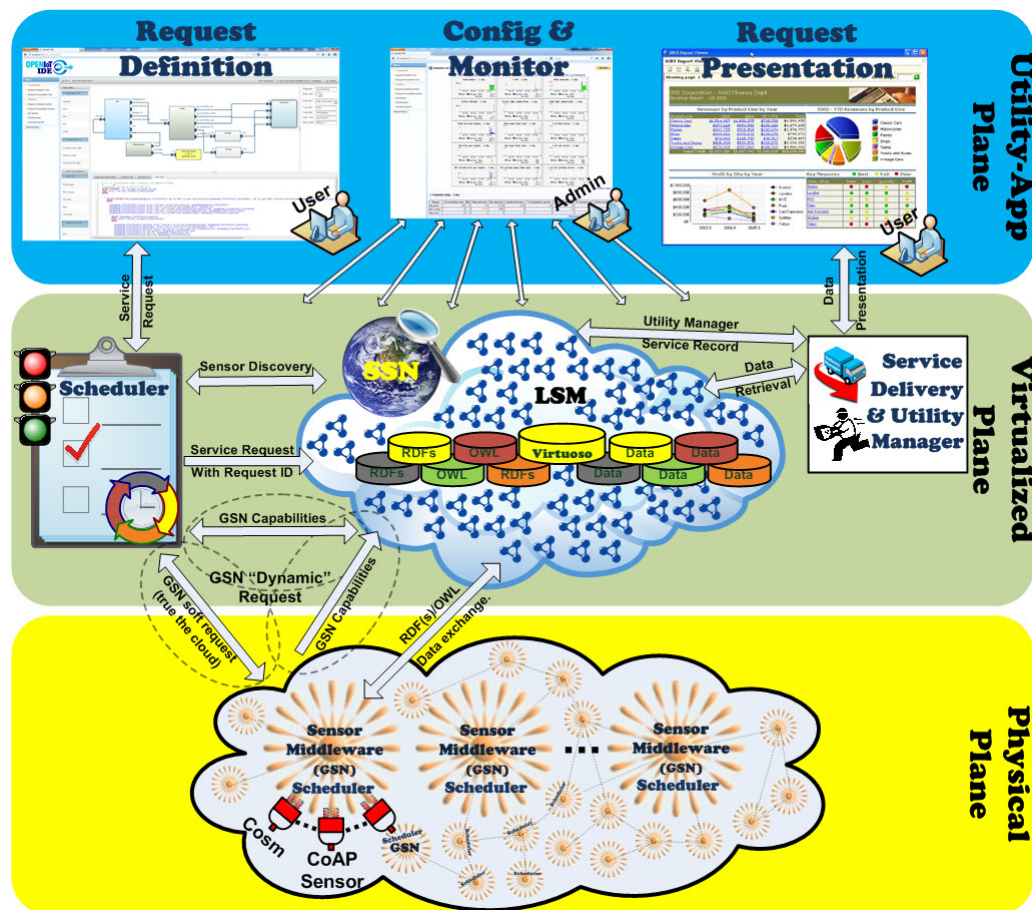


Figura 1.6. Plataforma OpenIoT (Petrolo et al. 2014)

O Plano Físico é um middleware responsável por coletar, filtrar, agregar e limpar os dados de sensores, atuadores e diversos outros tipos de dispositivos. Ele age como

uma interface entre o mundo físico e a plataforma OpenIoT. A versão atual do OpenIoT usa o X-GSN (Calbimonte et al. 2014), um middleware de código aberto para gerenciar, controlar e monitorar dispositivos IoT.

O Plano Virtualizado tem o objetivo de armazenar os dados, executar serviços e agendar a execução desses serviços. Os principais componentes dessa camada são os seguintes:

- O **Agendador (Scheduler)** que recebe requisições por serviços e garante o acesso aos recursos que esses serviços necessitam como fluxos de dados e tempo de processamento. É também responsável por identificar os sensores necessários para a execução dos serviços.
- O **Armazenamento de Dados na Nuvem (Cloud Data Storage)** armazena todos os dados da plataforma, i.e., os dados coletados da rede de sensores da cidades, de configuração da plataforma e das aplicações que são executadas na plataforma. Para o armazenamento e processamento dos dados capturados na cidade é utilizado o *Linked Sensor Middleware*, que possibilita o armazenamento e processamento de dados utilizando ontologias com o formato padrão RDF no banco de dados Virtuoso¹⁵ (Le-Phuoc et al. 2012).
- O **Gerenciador de Serviços e Utilidades (Service Delivery and Utility Manager)** tem quatro funções principais: possibilitar a definição de serviços sobre a plataforma, executar os serviços requisitados por usuários e aplicações, permitir a definição de parâmetros de configuração da plataforma e fazer o monitoramento de toda a infraestrutura que é executada na plataforma. Adicionalmente, esse componente mantém um histórico de todos os serviços utilizados na plataforma para permitir a cobrança pelo seu uso.

A Camada de Utilidades e Aplicações é a interface da plataforma com o usuário e possui os três componentes seguintes:

- A **Definição de Requisições (Request Definition)** permite que usuários definam novas aplicações usando os serviços e os dados que estão disponíveis na plataforma, permitindo inclusive a composição de serviços.
- A **Apresentação de Requisições (Request Presentation)** executa uma aplicação criada no componente Definição de Requisições. Quando uma aplicação é executada, ela se comunica com os componentes Gerenciador de Serviços e Utilidades para recuperar os resultados da execução dos serviços na plataforma.
- A **Configuração e Monitoramento (Configuration and Monitoring)** permite a configuração dos parâmetros da plataforma como, por exemplo, intervalos para a leitura de sensores, prioridade de serviços e aplicações e permissões de usuários e o monitoramento da execução de todos os componentes e dispositivos da plataforma.

¹⁵Virtuoso - <https://github.com/openlink/virtuoso-opensource>

Utilizando a plataforma OpenIoT, pesquisadores desenvolveram um sistema para o gerenciamento de lixo de uma cidade (Anagnostopoulos et al. 2015). Nessa aplicação, existem sensores dentro das cestas de lixo indicando se ela está cheia ou vazia. As cestas podem ser priorizadas para o recolhimento do lixo dependendo de sua localização, por exemplo, cestas próximas a escolas ou hospitais. Além disso, o sistema calcula a quantidade de lixo coletado e a quantidade de quilômetros rodados pelos caminhões de lixo para possibilitar a análise dos dados.

O OpenIoT é uma plataforma bastante completa atendendo à maioria dos requisitos necessários para a criação de uma cidade inteligente. Os pontos fortes dessa plataforma são o middleware para o armazenamento dos dados coletados na cidade, suas ferramentas para a definição dos serviços e o fato da plataforma ser de software livre. Entretanto, a plataforma não oferece coleta de dados de outras fontes importantes como redes sociais e não oferece suporte para o pré-processamento dos dados, o que é bastante relevante quando a quantidade de dados é muito grande.

1.5.2. SmartSantander

SmartSantander é uma plataforma experimental para o desenvolvimento de aplicações e serviços para Cidades Inteligentes. Ela é composta por um grande número de dispositivos IoT implantados em diversos cenários urbanos que coletam diferentes tipos de dados, uma rede de computadores, chamados *Gateways* que gerenciam e monitoram esses dispositivos e Servidores, que armazenam e processam os dados coletados na cidade. A arquitetura da plataforma SmartSantander é formada pelas três camadas seguintes:

- **IoT Nodes** são os nós físicos implantados na cidade. A maioria desses dispositivos são de baixa capacidade de processamento e na maioria dos casos apenas coletam algum dado da cidade. Por estarem implantados no ambiente urbano, esses dispositivos estão sujeitos a falhas e vandalismo, por isso é necessário a monitoração e manutenção dos dispositivos.
- **IoT Gateways** responsáveis por conectar os dispositivos espalhados pela cidade aos servidores nos quais os dados serão armazenados e processados. Essa camada também é responsável pela monitoração dos dispositivos que estão conectados a cada *gateway*. Eles são responsáveis pela gestão desses dispositivos e podem reconfigurar os dispositivos automaticamente e em tempo de execução.
- **Servers** nos quais os dados serão armazenados e processados. Essa camada é composta por hardware de alto poder computacional para garantir a escalabilidade e elasticidade da plataforma. Esses servidores podem servir como repositórios de dados, servidores de aplicações e serviços para a mineração e processamento dos dados.

A Figura 1.7 mostra um exemplo da arquitetura do SmartSantander sendo utilizada por uma aplicação para o sensoriamento participativo na cidade. Na camada do servidor existem componentes para fazer o diretório dos dispositivos que existem na cidade, um subsistema de apoio a aplicações que é responsável pelo armazenamento e acesso aos dados e o componente específico da aplicação.

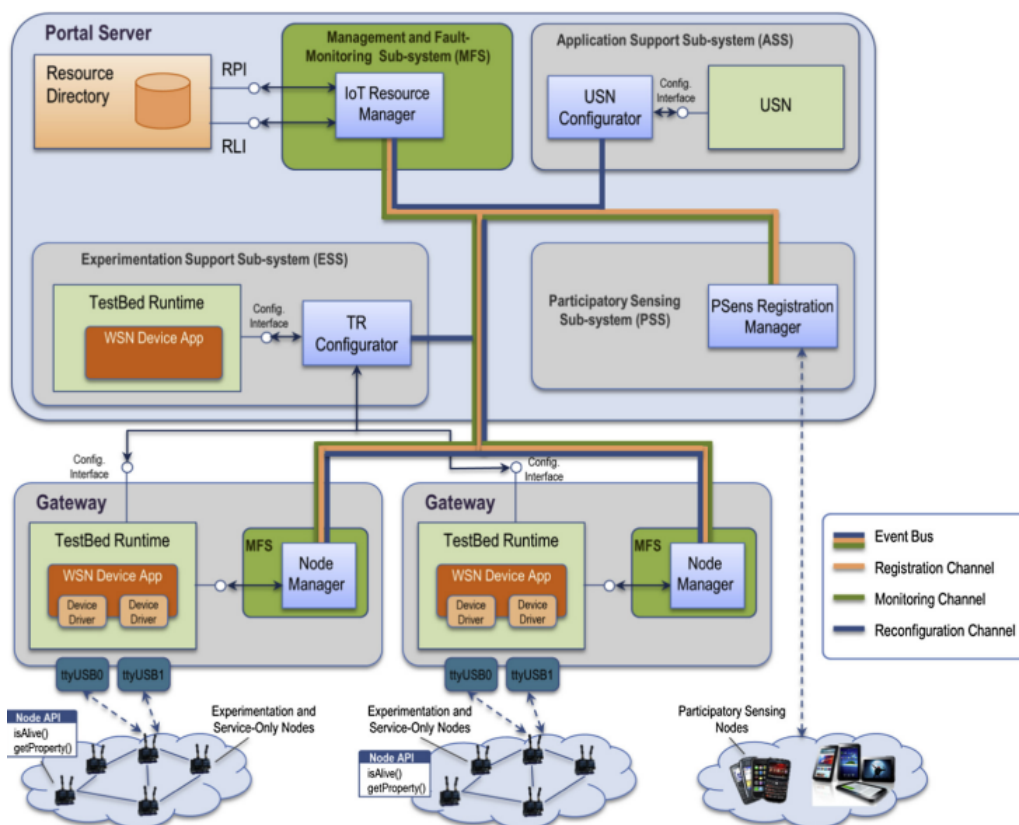


Figura 1.7. Arquitetura da Plataforma SmartSantander (Sanchez et al. 2014)

A Figura 1.7 mostra também que podem existir diversos *gateways* que se conectam a um conjunto de nós espalhados pela cidade. Os *gateways* recebem os dados dos dispositivos e os enviam para o servidor e também monitoram os dispositivos.

A plataforma SmartSantander tem como pontos fortes (1) a coleta de dados de uma grande rede de sensores da cidade de Santander, que mostra que é possível suportar o grande fluxo de dados em uma plataforma de Cidade Inteligentes, (2) a monitoração dos dispositivos espalhados pela cidade, que possibilita a fácil solução de problemas como dispositivos que perdem comunicação com a plataforma ou quebrados e (3) a possibilidade do uso da plataforma para o desenvolvimento de várias aplicações para a cidade.

Usando a infraestrutura do SmartSantander foram desenvolvidos diversos outros projetos, como por exemplo o SEN2SOC (Vakali et al. 2014) que captura fluxos de dados dos sensores da cidade e de redes sociais dos cidadãos para criar aplicações. Dois exemplos de aplicações são a reação dos cidadãos a algum evento na cidade e a construção de mapas de calor com os dados sobre a poluição do ar na cidade. Outro projeto é o CiDAP (Cheng et al. 2015) que será apresentado a seguir.

1.5.3. CiDAP

A plataforma CiDAP (*City Data and Analytics Platform*) utiliza ferramentas de Big Data com o objetivo de processar o grande volume de dados coletados da cidade para adicionar

inteligência e contexto nas aplicações e serviços desenvolvidos para a cidade. Os dados processados pela plataforma são coletados por um Middleware IoT independente. A plataforma foi testada utilizando os dados do SmartSantander (Cheng et al. 2015). A Figura 1.8 apresenta os cinco principais componentes da sua arquitetura:

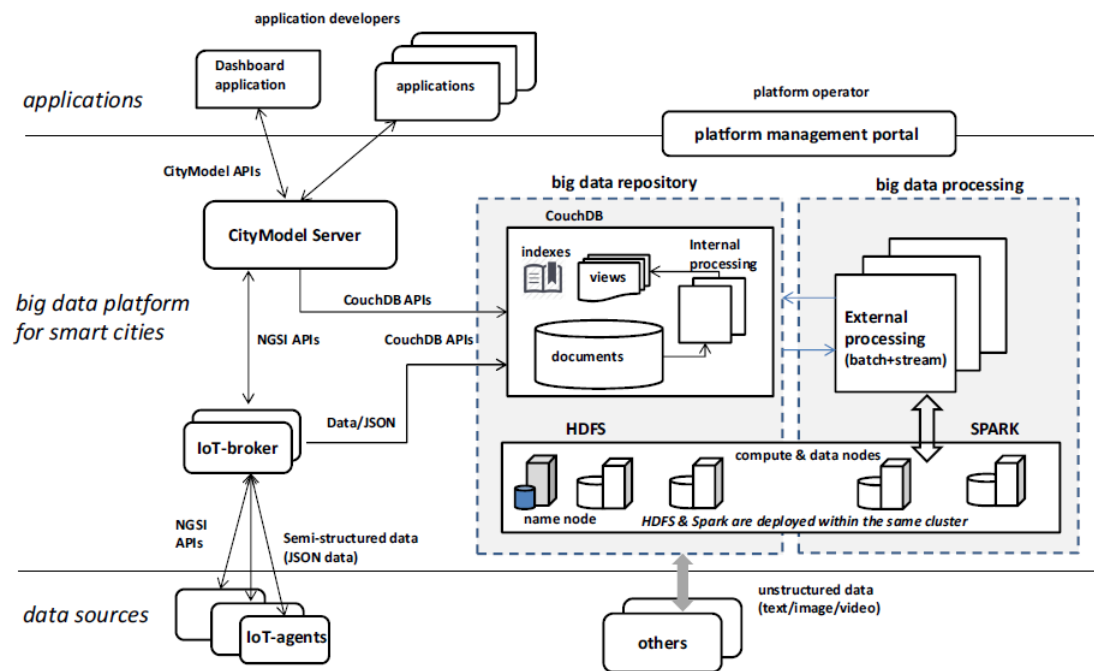


Figura 1.8. Plataforma CiDAP (Cheng et al. 2015)

- Os **IoT-Agents** se conectam com o middleware IoT como um *gateway* para coletar os dados dos dispositivos e armazenar na plataforma. Cada fonte de dados disponível no middleware IoT é mapeado em um IoT Agent.
- Os **IoT-Brokers** agem como uma interface unificada para os *IoT Agents*, facilitando o acesso aos dados coletados pelo middleware. Esse componente se comunica com o Repositório de Big Data para enviar os dados que serão armazenados ou com o CityModel para serem utilizados diretamente nas aplicações.
- O **Big Data Repository** armazena os dados coletados da cidade e também os dados processados utilizando o componente de processamento de Big Data. A plataforma utiliza o banco de dados NoSQL CouchDB ¹⁶, o qual armazena os dados em documentos no formato JSON. Esse componente possui também uma ferramenta de processamento interno para fazer processamentos simples e rápidos nos dados como a transformação dos dados em novos formatos ou a criação de novas tabelas e visões.
- O **Big Data Processing** é responsável por processamentos complexos ou demorados como a agregação dos dados ou algoritmos de aprendizado de máquina usando

¹⁶<http://couchdb.apache.org>

os dados armazenados no repositório de Big Data. Além disso, esse componente também processa dados históricos utilizando processamento em lote ou processa os dados em tempo real utilizando fluxos de dados. Esse componente é implementado utilizando a ferramenta Apache Spark (Zaharia et al. 2010).

- O **City Model Server** é a interface da plataforma para as aplicações externas. Ele é implementado como uma API com uma interface para os principais dados da cidade, como dados de sensores e resultados de análise dos dados. Esse componente possibilita dois tipos de consultas aos dados da plataforma, uma utilizando uma API REST na qual é possível efetuar consultas aos últimos valores coletados por um sensor ou outro dispositivo ou a resultados de algum processamento. A outra forma de consulta é a assinatura a uma fonte de dados, assim, a aplicação recebe periodicamente dados dessa fonte através de um mecanismo de publicação/assinatura.

A plataforma CiDAP tem como objetivo armazenar e processar um grande volume de dados urbanos. Isso é importante porque a quantidade de dados coletados em uma cidade inteligente será muito grande. Os pontos fortes dessa arquitetura são a preocupação com a escalabilidade e elasticidade das estruturas de armazenamento e processamento. Além de disponibilizar ferramentas para o processamento de dados históricos e em tempo real, outro fator interessante é que a plataforma já foi efetivamente testada utilizando os dados reais do SmartSantander.

1.5.4. Arquitetura Baseada em Computação em Nuvem e Big Data para Cidades Inteligentes

Pesquisadores de três universidades inglesas propuseram uma arquitetura baseada em Computação em Nuvem e Big Data para a construção de uma plataforma de cidades inteligentes com o objetivo de analisar todos os dados coletados de uma cidade (Khan et al. 2015). Além da arquitetura, no projeto também foi feita uma implementação experimental da plataforma utilizando apenas ferramentas de código aberto. A Figura 1.9 apresenta as camadas e componentes dessa arquitetura.

A arquitetura é composta por três camadas, a camada inferior consiste em repositórios distribuídos e heterogêneos e diversos sensores que estão conectados à plataforma. O objetivo dessa camada é coletar, limpar e classificar os dados utilizando padrões abertos para a representação de dados como XML e JSON e algoritmos de aprendizado de máquina. Na implementação experimental foi utilizado o banco de dados Cassandra¹⁷ para a implementação dessa camada.

A camada intermediária apoia o desenvolvimento de *workflows* para o desenvolvimento de serviços utilizando os repositórios de dados. Entretanto, os dados coletados podem estar em diferentes formatos e sem nenhuma relação entre eles, por isso, existe um componente para o entendimento e a ligação dos dados utilizando ferramentas de Web Semântica. Para a implementação experimental foi utilizado o banco de dados Virtuoso, que possibilita a criação de banco de dados semânticos com RDF (*Resource Description Framework*).

¹⁷ Apache Cassandra - <http://cassandra.apache.org>

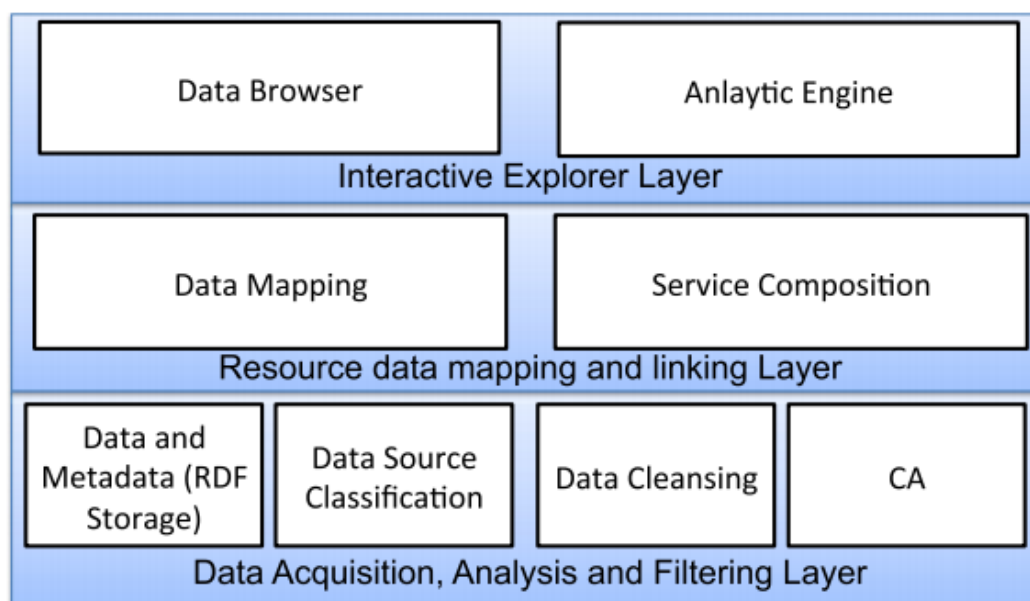


Figura 1.9. Arquitetura Baseada em Computação em Nuvem e Big Data para Cidades Inteligentes

Na camada superior, existe um motor de análises que utiliza os serviços desenvolvidos com os *workflows* e os dados ligados para fazer processamentos que sejam necessários para as aplicações desenvolvidas sobre as plataformas. Nessa camada, podem ser utilizadas ferramentas que processam uma grande quantidade de dados com algoritmos de aprendizado de máquina para entender o comportamento da cidade. Na implementação experimental da plataforma, foi utilizado o Apache Spark (Zaharia et al. 2010).

Para testar a implementação experimental da plataforma, foram utilizados os dados da cidade de Bristol, na Inglaterra, que possui um portal de dados abertos¹⁸. Para esse teste, foram coletados diversos conjuntos de dados da cidade e, utilizando a plataforma, esses dados foram relacionados e algumas aplicações foram desenvolvidas.

A plataforma tem como pontos fortes o suporte a vários requisitos não-funcionais de cidades inteligentes como escalabilidade e elasticidade, a possibilidade da ligação entre os dados utilizando ferramentas de Web Semântica e o uso de diversas ferramentas prontas e de código livre em sua implementação como o Apache Spark e o Apache Cassandra.

1.5.5. Concinnity: Uma plataforma genérica para aplicações de Big Data

A plataforma Concinnity (Wu et al. 2014) tem o objetivo de facilitar a construção de aplicações utilizando dados de sensores, contribuição coletiva e compartilhamento de dados e serviços. Para isso, a plataforma disponibiliza os dados coletados de sensores para aplicações através de uma interface de acesso aos dados da plataforma disponibilizados em um ambiente de computação em nuvem e em uma ferramenta para o desenvolvimento de *workFlows*. A Figura 1.10 apresenta as camadas e componentes da arquitetura da plataforma Concinnity.

¹⁸Open Data Bristol - <https://opendata.bristol.gov.uk>

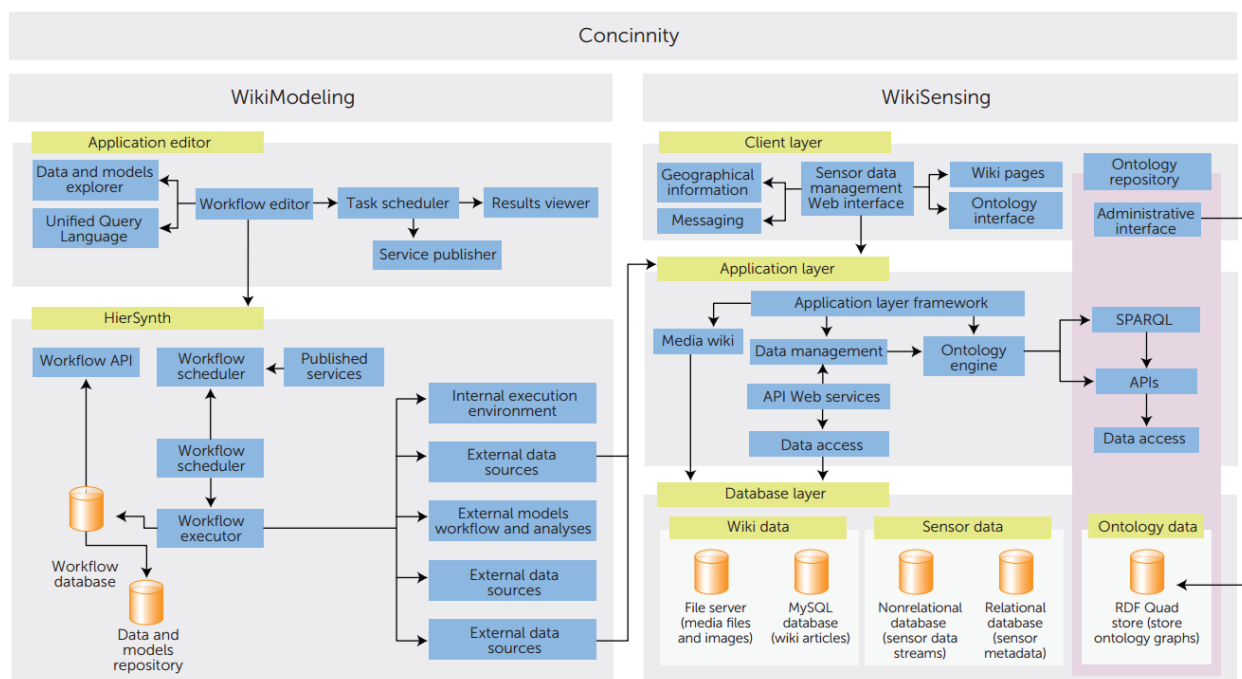


Figura 1.10. Plataforma Concinnity

A plataforma é formada por cinco camadas. *Application Editor* disponibiliza um editor de aplicações que facilita o uso dos recursos da plataforma para a construção de novas aplicações. *HierSynth* é um servidor para a execução de *workflows*. *Data Base Layer* é responsável por disponibilizar um ambiente elástico para o armazenamento de uma grande quantidade de dados. *Application Layer* é responsável pela execução das aplicações da plataforma. Finalmente, *Client Layer* é a interface da plataforma com os usuários finais.

A **Application Editor** é uma ferramenta colaborativa para o desenvolvimento rápido de aplicações que utilizam os dados disponíveis na plataforma. Essa ferramenta possui uma linguagem de consulta que possibilita a recuperação, filtragem e composição dos dados, um editor de *workflows* para a construção de fluxos de processamento dos dados, um agendador de tarefas para programar a execução das aplicações, um visualizador dos resultados para o teste das aplicações e, finalmente, um publicador de serviços, que disponibiliza as aplicações desenvolvidas para todos os usuários da plataforma.

O **HierSynth** é um servidor disponível em um ambiente de Computação em Nuvem para a execução dos serviços necessários para a execução das aplicações que foram desenvolvidos no editor de aplicações.

A **Data Base Layer** é o repositório de dados da plataforma, no qual são armazenados os dados dos sensores, aplicações e da plataforma em si. Na sua implementação, foram utilizados o banco de dados MongoDB¹⁹, que é um banco de dados NoSQL sem esquema, o que permite a flexibilização do modelo de dados da plataforma facilitando a

¹⁹MongoDB - www.mongodb.org

agregação dos dados, e o banco de dados relacional MySQL²⁰ para o armazenamento dos dados das aplicações e de configuração da plataforma. A plataforma usa ainda ontologias para consultas mais sofisticadas utilizando a linguagem SPARQL.

A **Application Layer** contém a lógica de negócios para a execução dos serviços, para o controle de acesso da plataforma, para a gestão dos dados e para permitir a colaboração dentro da plataforma. Essa camada também faz toda a comunicação com os serviços de execução de *workflows* e para acesso aos dados, mantendo a modularidade da plataforma.

A **Client Layer** disponibiliza uma interface Web para a visualização dos dados dos sensores, um catálogo das aplicações e serviços disponíveis na plataforma e uma aplicação baseada em uma Wiki para a contribuição e compartilhamento de conhecimento entre os usuários da plataforma.

Um estudo de caso utilizando a plataforma em cidades inteligente foi realizado utilizando dados de 140 sensores de qualidade do ar da cidade de Londres. A partir dos dados dos sensores e utilizando informações sobre o trânsito da cidade foi feita uma análise sobre o impacto das emissões de poluentes de veículos sobre as áreas mais poluídas da cidade. Também foram utilizados algoritmos de aprendizado de máquina para verificar a confiabilidade dos dados.

A plataforma tem como pontos fortes o suporte para a implementação de aplicações dentro da plataforma, contribuindo para a colaboração entre seus usuários, a utilização de tecnologias como bancos de dados NoSQL e Computação e Nuvem para permitir a escalabilidade e elasticidade da plataforma e o uso de várias representações dos dados para facilitar seu uso.

1.5.6. ClouT - Cloud of Things for empowering the citizen in smart cities

A projeto nipo-europeu ClouT (Tei and Gurgen 2014) tem o objetivo de integrar a Computação em Nuvem e a Internet das Coisas para possibilitar, através de serviços digitais, a criação de cidades inteligentes explorando múltiplas fontes de dados. A plataforma disponibiliza diversos requisitos funcionais para facilitar o desenvolvimento de aplicações como a coleta, integração, armazenamento e processamento dos dados da cidade. A Figura 1.11 apresenta a arquitetura geral da plataforma.

A plataforma é composta por duas camadas, a ClaaS (*City Infrastructure as a Service*) e a CPaaS (*City Platform as a Service*). Essas camadas disponibilizam seus recursos através de serviços em um ambiente de Computação em Nuvem.

A primeira camada, ClaaS, gerencia um conjunto de recursos físicos garantindo a interoperabilidade entre eles utilizando tecnologias de virtualização. Todos os recursos dessa camada são acessados através de APIs, permitindo o acesso a qualquer recurso físico da cidade inteligente. Essa camada possui os cinco componentes principais seguintes:

- O componente **Sensorization and Actuatorization** é responsável pela comunicação da plataforma com diversas fontes de dados da cidade e dos usuários para a co-

²⁰MySQL - <https://www.mysql.com>

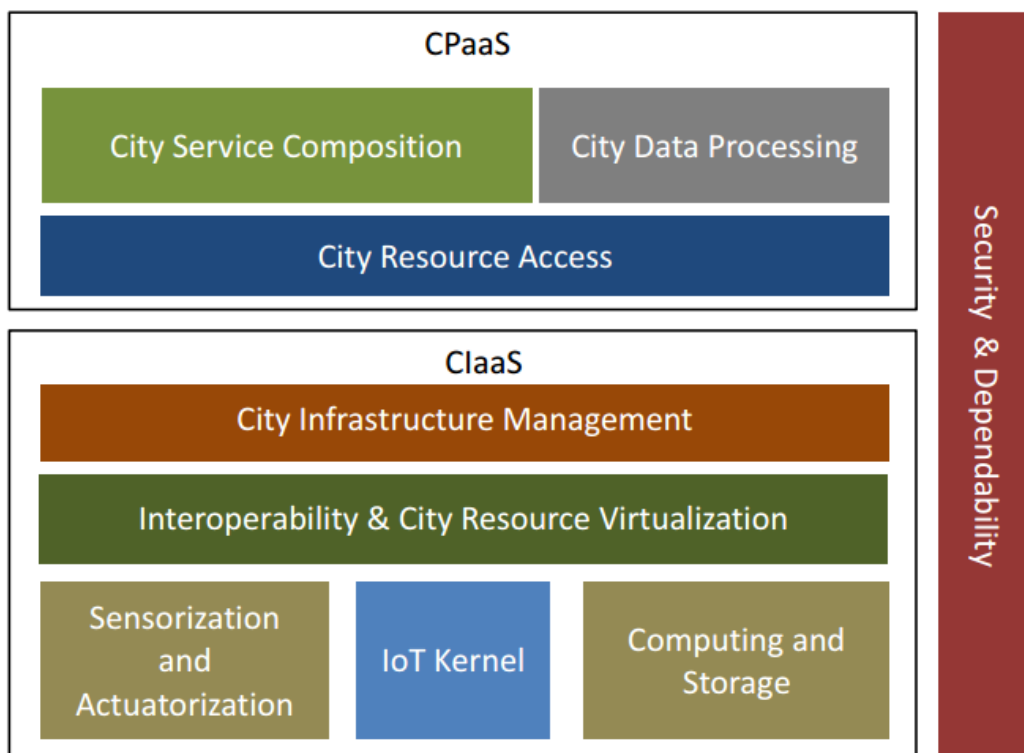


Figura 1.11. Plataforma ClouT

leta dos dados, como aplicações legadas, *smartphones* e redes sociais, transformando-os em sensores e atuadores integrados à plataforma.

- O **IoT Kernel** gerencia os dispositivos IoT da cidade, permitindo a exclusão, adição, edição e monitoramento dos dispositivos.
- O **Computing and Storage** inclui todo o software e hardware necessários para oferecer um infraestrutura escalável e confiável para armazenamento de dados e serviços e a hospedagem de aplicações.
- O **Interoperability and City Resource Virtualization** é responsável por validar, converter e relacionar os dados coletados na plataforma. Essa camada torna os serviços da plataforma transparente, unificando todo o acesso aos dados e serviços a partir de um modelo único da cidade.
- O **City Infrastructure Management** oferece funcionalidades centralizadas para a busca e descoberta de recursos na cidade bem como a gestão de eventos por eles gerados.

A segunda camada, a CPaaS, possui um conjunto de serviços que possibilitam o desenvolvimento e a composição de aplicações para as cidades. Os componentes dessa camada são:

- **City Resource Access** é o middleware que possibilita armazenamento e recuperação de dados e meta-dados sobre os recursos da cidade.

- **City Data Processing** possibilita a análise e extração de informações dos dados que estão armazenados na plataforma oferecendo um motor de inferências e um componente para a filtragem de dados inconsistentes.
- O **City Service Composition** oferece um conjunto de ferramentas para facilitar a integração e composição de dados e serviços desenvolvidos para as aplicações da plataforma. Essa ferramenta oferece uma interface gráfica para possibilitar a composição de serviços.

Acima dessas duas camadas estão as aplicações que podem ser desenvolvidas a partir do uso dos serviços oferecidos pela camada CPaaS. Vários exemplos de aplicações estão sendo desenvolvidas com a plataforma ClouT (Galache et al. 2014). Em Fujiwasa, no Japão, pesquisadores estão desenvolvendo um sistema para alertas de tsunamis analisando dados ambientais capturados por sensores e postados por cidadãos em redes sociais. Em Gênova, na Itália, já existe uma aplicação que gerencia e coleta dados de uma rede de sensores implantada na cidade, também com o objetivo de alertar a população sobre riscos ambientais ²¹.

Essa plataforma tem como ponto forte a disponibilização de todos os seus serviços em um ambiente de Computação em Nuvem, permitindo inclusive que outras plataformas ou aplicações acessem apenas componentes específicos da plataforma. Outra característica importante é a camada que unifica a visão sobre a infraestrutura da cidade utilizando um modelo único, o que facilita o entendimento da cidade e o desenvolvimento e integração das aplicações e serviços.

1.5.7. Arquitetura para Coleta de Fluxos de Dados em Tempo Real

O projeto austríaco *Analysis on semantically structured data from smart buildings and smart grids* propõe uma plataforma com o objetivo de processar fluxos de dados em tempo real em um ambiente de Computação em Nuvem para Cidades Inteligentes (Girtelschmid et al. 2013). Para facilitar a integração entre diferentes aplicações e dispositivos da cidade, a plataforma utiliza um modelo semântico baseado em ontologias. Como o processamento desses modelos tem um desempenho ruim, a arquitetura propõe o uso de ferramentas de Big Data para o processamento paralelo e distribuído de grandes fluxos de dados. Em uma implementação experimental foi utilizada a ferramenta de Big Data Apache Storm²² para fazer esse processamento. A Figura 1.12 apresenta a arquitetura dessa plataforma.

Os dados coletados de uma rede de sensores implantados na cidade são capturados em tempo real pela plataforma, que pode estar implantada em um *cluster* de vários computadores. A primeira camada da plataforma, formada pelo processador de fluxos de dados, é responsável pelo pré-processamento dos dados, como detectar mudanças bruscas nas leituras de sensores, detectar falhas ou *outliers* e também por pequenos processamentos como acumular ou calcular a média de leituras de sensores. Essa camada pode ainda acessar diretamente o repositório de ontologias e fazer mudanças nos modelos.

O repositório de ontologias armazena a leitura dos dados de sensores mais recentes e valores acumulados dessas leituras, como a média de temperatura e a quantidade de

²¹Io Non Rischio Gênova - <http://www.iononrischioclout.comune.genoa.it>

²²Apache Storm - <http://storm.apache.org/>

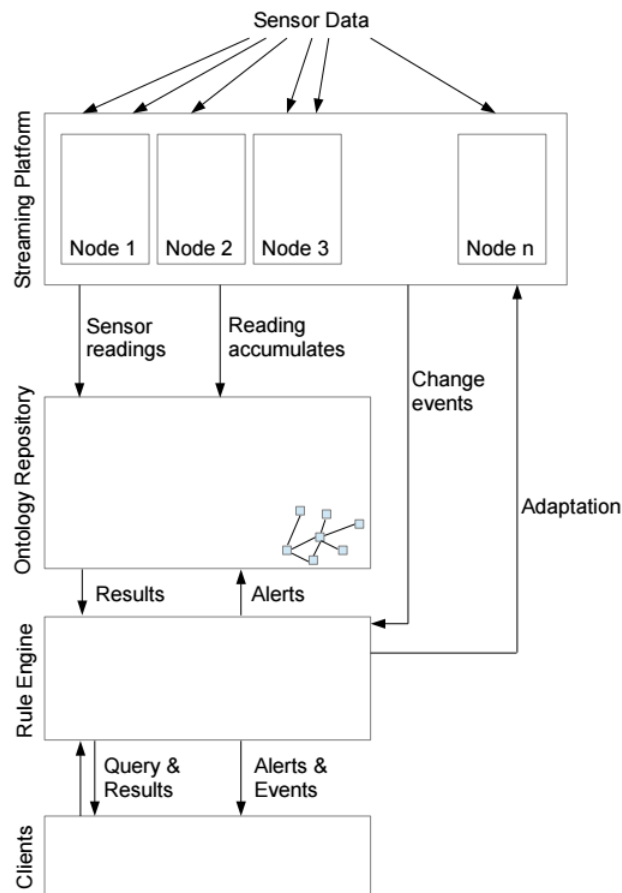


Figura 1.12. Arquitetura para Coleta de Fluxos de Dados em Tempo Real

chuvas acumulada em um determinado período. A ontologia contém ainda o modelo dos dados da cidade e facilita a execução das regras que processam os dados da plataforma.

O componente **Rule Engine** executa uma série de regras para o processamento dos dados armazenados nas ontologias sempre que uma requisição de uma aplicação cliente é feita para a plataforma. Os clientes podem acessar a plataforma de duas maneiras: consultas simples aos dados da cidade, como a última leitura de um sensor e a assinatura (*subscription*) a uma regra que sempre que for processada envia os dados a todos os clientes que realizaram a assinatura. Esse componente pode também adaptar o funcionamento do *cluster* que coleta os dados dos sensores como interromper a leitura de um sensor que aparenta estar com defeito e mudar a frequência da leitura de um sensor.

Por fim, as aplicações podem se registrar ou consultar os dados armazenados na plataforma. As aplicações podem ainda adicionar novas regras a plataforma ou adaptá-las para atender requisitos específicos da aplicação. A plataforma foi testada utilizando dados artificiais gerados por um simulador de Cidades Inteligentes que gerou dados sobre o consumo de energia elétrica em Casas Inteligentes.

Essa plataforma tem como ponto forte a captura e processamento dos fluxos de dados da cidade em tempo real utilizando uma ferramenta de grande poder computacional. Além disso, a plataforma permite a integração dos dados utilizando um modelo de

ontologias, o que facilita o desenvolvimento de aplicações que utilizam diversas fontes de dados.

1.5.8. Outras Plataformas

O projeto Padova Smart City (Zanella et al. 2014) utiliza uma plataforma baseada na Internet das Coisas para monitorar e coletar dados de uma rede de sensores com mais de 300 dispositivos instalados na cidade. Essa rede tem duas funções principais, coletar dados ambientais como emissões de CO_2 e temperatura do ar e monitorar a infraestrutura da cidade como postes de luz. Um requisito importante para a implementação de cidades inteligentes destacados por esse trabalho é o uso de protocolos e formatos de dados comuns para facilitar a interoperabilidade entre os diferentes sistemas da cidade.

Foram desenvolvidas duas aplicações utilizando a plataforma Padova Smart City. A primeira (Bui and Zorzi 2011) é um sistema de saúde, que tem como principal função monitorar a condição de pacientes e enviar seus dados diretamente para médicos, e chamar automaticamente serviços de saúde em caso de emergência. A segunda (Bressan et al. 2010) apresenta uma aplicação para monitorar todos os postes de luz da cidade, indicando onde é necessário fazer a manutenção e a troca de lâmpadas.

O Gambas é um middleware para o desenvolvimento de aplicações para Cidades Inteligentes (Apolinarski et al. 2014) que suporta a aquisição, distribuição e integração dos dados da cidade. A plataforma disponibiliza ainda um conjunto de ferramentas e um ambiente de execução de aplicações para facilitar o desenvolvimento de aplicações para a cidade. Outro requisito importante tratado pelo middleware é a sensibilidade ao contexto para possibilitar que as aplicações se adaptem a situação, comportamento e intenção do usuário. Toda a comunicação entre as aplicações e a plataforma são criptografadas para garantir a segurança e privacidade dos cidadãos.

O middleware Gambas foi usado para o desenvolvimento de duas aplicações utilizadas no transporte público de Madrid. A primeira é uma ferramenta que utiliza informações contextuais do usuário (localização e horário de um compromisso) para encontrar as melhores opções para sua viagem no transporte público da cidade (Foell et al. 2014). A segunda estima o número de usuários que estão dentro de um ônibus através de seus smartphones e os informa para a plataforma, possibilitando a análise dos horários que cada linha de ônibus é mais utilizada na cidade (Handte et al. 2014).

Scallop4SC (*SCALable LOGging Platform for Smart City*) (Takahashi et al. 2012; Yamamoto et al. 2014) é uma plataforma que emprega ferramentas de Big Data para processar um grande volume de dados coletados de Prédios Inteligentes. A plataforma utiliza diversas dados sobre esses prédios como consumo de água e energia elétrica, temperatura, umidade do ar e a quantidade de lixo gerado. Periodicamente, os prédios enviam os dados para a plataforma, para que eles possam ser processados e análises e serviços possam ser criados ou feitos sobre esses dados. Para essas análises é utilizado o algoritmo MapReduce do Apache Hadoop.

Duas aplicações foram desenvolvidas utilizando a plataforma Scallop4SC no domínio de gerência de energia elétrica. A primeira é uma ferramenta para a visualização do consumo de energia dos prédios conectados à plataforma, possibilitando análises em

diferentes níveis como ruas, bairros, região da cidade e a cidade inteira. O segundo é um serviço de alerta para detectar desperdício de energia, disponível para Casas Inteligentes (Yamamoto et al. 2014).

A Plataforma Europeia para Cidades Inteligentes (*European Platform for Intelligent Cities - EPIC*) (Ballon et al. 2011) implementa um middleware IoT completo para facilitar o uso e gerenciamento de uma rede de sensores em uma Cidade Inteligente. Esse middleware tem o objetivo de lidar com diversos requisitos não-funcionais desse tipo de plataforma como interoperabilidade, heterogeneidade, escalabilidade, extensibilidade e configurabilidade.

Com essa plataforma foram desenvolvidas diversas aplicações, como uma para a chegada de novos moradores na cidade de Bruxelas, na Bélgica, que procura moradias que satisfaçam alguns requisitos das pessoas como preço e proximidade ao transporte público. Essa aplicação integra dados públicos sobre pontos de interesse e dados privados obtidos de aplicações para a venda e aluguel de imóveis na cidade. Outra aplicação é uma para o monitoramento do consumo de energia elétrica para edifícios públicos, testada em Manchester, na Inglaterra, essa aplicação testa a coleta de dados na plataforma e tem o objetivo de melhorar o consumo de energia elétrica, diminuindo o desperdício.

1.6. Requisitos de uma Plataforma de Cidades Inteligentes

A partir da análise das iniciativas introduzidas na Seção 1.4 e das plataformas descritas na Seção 1.5, apresentamos agora os principais requisitos que devem ser considerados na implementação de uma plataforma de Cidades Inteligentes.

1.6.1. Requisitos Funcionais

O principal objetivo de uma plataforma para cidades inteligente é facilitar o desenvolvimento de aplicativos para a cidade. Assim, a maioria das plataformas apresentadas oferecem funcionalidades para a coleta, armazenamento e compartilhamento dos dados urbanos e para o desenvolvimento e execução de serviços e aplicações para a cidade. Os principais requisitos funcionais para plataformas de software para cidades inteligentes são os seguintes.

- **Gerenciamento de Dados:** Uma Cidade Inteligente manipula uma quantidade enorme de dados, por isso, é necessário que as plataformas implementem diversas atividades relacionadas ao ciclo de vida dos dados da cidade, como a **coleta**, o **armazenamento**, a **análise** e a **visualização** dos dados. Diversas técnicas e ferramentas podem ser usadas para suprir esse requisito, como por exemplo bancos de dados NoSQL para dados não-estruturados ou semi-estruturados, bancos de dados relacionais para dados estruturados, ferramentas de *Big Data* para a análise e processamento dos dados e geradores de relatórios e imagens para a visualização dos dados (Hernández-Muñoz et al. 2011; Cheng et al. 2015).
- **Ambiente para Execução de Aplicações:** Algumas plataformas oferecem suporte para a **execução** de aplicações da cidade facilitando a **implantação** e a **integração** entre essas aplicações. Algumas plataformas oferecem um ambiente para a implantação de serviços e aplicações (Apolinarski et al. 2014); outras oferecem um

serviço para a execução de aplicações desenvolvidas com ferramentas da própria plataforma (Petrolo et al. 2014; Wu et al. 2014).

- **Gerencia da Rede de Sensores:** Uma das principais características de Cidades Inteligentes é a necessidade de gerenciar uma grande rede de dispositivos instalados na cidades como sensores que coletam dados do ambiente, sensores que verificam o funcionamento do mobiliário urbano e sensores que monitoram o trânsito. Essa rede pode ser complexa e grande, como por exemplo a rede do projeto SmartSantander que conta com mais de 20 mil sensores em uma cidade pequena; numa cidade grande como São Paulo ou Rio de Janeiro, idealmente deveríamos ter de centenas de milhares a milhões de sensores. Algumas das atividades necessárias nesse requisito são a **adição, remoção, monitoramento e coleta de dados dos sensores**. Além de Santander, outras cidades que já possuem uma rede de sensores razoavelmente explorada são Barcelona, Padua, Chicago, Dublin e Amsterdã.
- **Processamento de Dados:** O processamento dos dados coletados na cidade é essencial para a criação de diversos serviços e aplicações para Cidades Inteligentes como para o entendimento de algum fenômeno que ocorre na cidade, para pesquisar a melhor opção de transporte para o usuário e para identificar áreas de risco. Diversas ferramentas são utilizadas para o processamento de dados em Cidades Inteligentes, como máquinas de inferência (normalmente associadas ao uso de ontologias), processadores de *workflows* (para executar aplicações nas quais os dados passam por diversos estágios de processamento, como no atendimento de saúde de um paciente, ou em uma solicitação à prefeitura) e ferramentas de Big Data para o processamento de grandes quantidades de dados. Esses componentes processam grandes conjuntos de dados com o propósito de **analisar, verificar, agregar e filtrar** os dados coletados da cidade (Girtelschmid et al. 2013; Cheng et al. 2015).
- **Acesso aos Dados:** Para possibilitar o desenvolvimento de aplicações para a cidade, é essencial que os dados coletados e processados possam ser acessados por aplicações e serviços externos à infraestrutura da cidade. Diversas iniciativas já disponibilizam seus dados através de **portais de dados abertos**, mas é fundamental também, que os dados nesses portais sejam disponibilizados em **formatos padronizados** e com **meta-dados descritivos** associados. Para isso, várias cidades utilizam **APIs bem definidas** que facilitam o desenvolvimento de aplicações automatizadas. Outra forma interessante de disponibilizar os dados, é através de **serviços de publicação/assinatura** (*publish/subscribe*), por meio dos quais clientes que manifestam interesse em tópicos específicos recebem dados sempre que uma fonte gerar novos dados de interesse para cada cliente.
- **Gerenciamento de Serviços:** A maioria das plataformas e iniciativas de Cidades Inteligentes adota a **arquitetura orientada a serviços** para oferecer as funcionalidades da plataforma em um ambiente de Computação em Nuvem. Alguns dos serviços oferecidos são: acesso aos dados coletados pelos sensores e dados processados, componentes para o processamento de dados como máquinas de inferência e algoritmos de aprendizado de máquina, componentes para a execução de *workflows* e serviços de gerencia de usuários da plataforma. Algumas plataformas possibilitam

ainda que desenvolvedores implantem serviços na plataforma e os disponibilizem para outras aplicações da cidade. É importante também possibilitar operações sobre serviços, como composição e **coreografias** (Issarny et al. 2011) para a criação de novos serviços e aplicações (Lee and Rho 2010; Piro et al. 2014) de forma **automatizada e escalável** (Leite et al. 2014).

- **Ferramentas para o Desenvolvimento de Software:** Como um dos principais objetivos de uma Cidade Inteligente é o fornecimento de aplicações e serviços que facilitem a vida do cidadão, é necessário que as plataformas facilitem o desenvolvimento desses sistemas. Para isso, devem ser fornecidas ferramentas que facilitem a utilização dos serviços fundamentais e componentes básicos da plataforma. Alguns exemplos de ferramentas utilizadas são: interfaces visuais para a descrição de aplicações utilizando as fontes de dados e serviços disponíveis na plataforma, ferramentas para a descrição de *workflows*, a utilização de ferramentas para a geração de relatórios e análise de dados e até o desenvolvimento de um kit para o desenvolvimento de aplicações (*Software Development Kit* ou SDK) com diversas ferramentas integradas (Elmangoush et al. 2013; Apolinarski et al. 2014).
- **Definição de um Modelo da Cidade:** Para melhorar o entendimento do funcionamento de diversos serviços da cidade e permitir a análise e o processamento automático desse funcionamento, é fundamental o desenvolvimento de modelos da cidade. Tais **modelos podem representar aspectos estáticos da cidade**, como o mapa da cidade com a localização das ruas e equipamentos públicos, ou **aspectos dinâmicos da cidade**, como o fluxo de veículos, as zonas de congestionamento em diferentes horas do dia e dias da semana ou a variação na utilização dos serviços de saúde da cidade ao longo do progresso de epidemias de diferentes doenças infecciosas. Além de melhorar o entendimento da cidade, os modelos também facilitam a análise automática dos dados através de algoritmos de aprendizado de máquina. Algumas plataformas utilizam esses modelos para permitir as consultas aos dados da cidade em uma linguagem de consulta própria e outras utilizam os modelos para facilitar a definição das aplicações e serviços da cidade, utilizando linguagens de descrição de processos como linguagens de definição de *workflows* e BPMN (*Business Process Modeling Notation*) (Cheng et al. 2015; Privat et al. 2014).

Baseado nos requisitos funcionais descritos acima, é possível observar que as principais atividades das plataformas são controlar o ciclo de vida dos dados da cidade:

1. coletar os dados com a rede de sensores e atuadores,
2. gerenciar os dados na plataforma,
3. processar os dados da cidade utilizando seu modelo de dados e
4. compartilhar os dados coletados e processados permitindo acesso externo a esses dados.

Essas atividades são bastante relacionadas com as tecnologias usadas para a implementação de cidades inteligentes como IoT para a implementação da rede de sensores, o

gerenciamento e processamento de dados com Big Data e o gerenciamento de serviços com Computação em Nuvem.

1.6.2. Requisitos não-funcionais

A maioria dos requisitos não-funcionais de uma cidade inteligente são relacionados ao fato de que estamos diante de enormes e heterogêneos sistemas distribuídos. Isso exige bons níveis de escalabilidade, adaptabilidade e interoperabilidade. Outros requisitos são relacionados a manipulação de dados críticos dos cidadãos e da cidade como privacidade e segurança. Os principais requisitos não-funcionais de plataformas de software para cidades inteligentes são os seguintes.

- **Interoperabilidade:** Diferentes dispositivos, sistemas, aplicações e plataformas compõem um ambiente de uma cidade inteligente e todos esses componentes devem operar de uma maneira integrada. Por exemplo, sensores de múltiplos fabricantes, sistemas implementados em diferentes linguagens de programação e em diferentes sistemas operacionais, plataformas que compartilham dados e usuários e sistemas legados que devem se comunicar com as novas aplicações da cidade, tudo isso deve trabalhar em conjunto de forma harmoniosa. Existem diversas técnicas adotadas para alcançar esses requisitos: o uso de interfaces genéricas e padrões da indústria, a aplicação de web semântica para integração dos componentes da plataforma e o uso de serviços de nomes e de descoberta de recursos baseados em ontologias para identificar diferentes dispositivos e fontes de dados (Villanueva et al. 2013; Gurgun et al. 2013).
- **Escalabilidade:** A quantidade de usuários, dados, aplicações e serviços em uma Cidade Inteligente será muito grande e tende a aumentar ao longo do tempo, com a integração de mais serviços e o aumento da população. Por exemplo, na cidade de Santander, uma cidade média, já existem mais de 20.000 sensores instalados coletando uma grande quantidade de dados da cidade; a plataforma CiDAP que coletou mais de 50 GBs de dados em três meses. Esse requisito não funcional é importante para o funcionamento de diversos requisitos funcionais como o gerenciamento da rede de sensores e atuadores, o gerenciamento de dados e o gerenciamento de serviços (Bain 2014; Takahashi et al. 2012). Basicamente, o que devemos buscar é que a qualidade do serviço oferecido pela plataforma não seja prejudicada à medida em que a escala do sistema aumenta e que os acordos de nível de serviço (SLA) sejam respeitados.
- **Elasticidade:** A quantidade de usuários que acessam os serviços de uma cidade inteligente pode variar bastante durante o dia ou, por exemplo, durante os horários de pico. Os serviços relacionados ao trânsito da cidade terão muito mais requisições na hora do *rush* do que de madrugada, ou durante um grande evento cultural, os serviços relacionados ao atendimento a turistas terão uma grande demanda. Por isso, é importante que a infraestrutura da cidade seja redimensionada dinamicamente de acordo com a necessidade para evitar a falta de recursos quando eles forem necessários e evitar o desperdício quando não mais forem utilizados. A maioria das iniciativas que disponibilizam seus serviços em um ambiente de Computação em

Nuvem (Wu et al. 2014; Khan et al. 2015; Petrolo et al. 2014) citam a necessidade desse requisito, uma vez que as tecnologias da Nuvem surgiram tendo elasticidade como um dos objetivos principais.

- **Segurança:** Usuários maliciosos podem fazer uso fraudulento dos serviços e dados disponibilizados pela plataforma. É fundamental que as plataformas implementem mecanismos específicos de segurança que ofereçam controle de acesso, criptografia, autenticação e a proteção dos dados da plataforma, da infraestrutura e das aplicações da cidade (Piro et al. 2014; Hernández-Muñoz et al. 2011; Petrolo et al. 2014).
- **Privacidade:** Um ambiente de cidade inteligente coleta e manipula diversos dados sensíveis a usuários, governos, empresas e ONGs da cidade como a localização de pessoas e suas ações, dados governamentais, registros médicos e dados sigilosos de negócios. É um desafio usar todos esses dados escondendo ou trocando informações para impossibilitar a identificação de quem está transmitindo a informação (Cardoso and Issarny 2007). Algumas das estratégias utilizadas para alcançar esse objetivo é o uso de criptografia, dispositivos para controlar o acesso aos dados da plataforma como certificados digitais e biometria bem como a anonimização dos dados (Apolinarski et al. 2014; Mylonas et al. 2015).
- **Sensibilidade ao Contexto:** Como a situação da cidade e dos cidadãos muda constantemente, muitas aplicações de cidades inteligentes podem apresentar melhores resultados usando informações contextuais. Alguns exemplos de informações sobre usuários que podem ser usadas são a localização, a atividade sendo realizada e a linguagem do dispositivo de acesso. Exemplos das informações sobre a cidade utilizadas são condições de tráfego, clima e qualidade do ar (Khan et al. 2013; Cheng et al. 2015). Alguns exemplos de aplicações que usam sensibilidade ao contexto são: mostrar a aplicação em uma língua diferente para turistas, mudar a rota de um motorista para evitar áreas congestionadas ou poluídas e definir a recomendação do uso de modo de transporte dependendo da previsão do tempo.
- **Adaptabilidade:** Ainda relacionado à sensibilidade ao contexto, muitas plataformas adaptam o seu comportamento de diferentes formas, em diferentes dimensões, baseado no contexto dos usuários ou da cidade. Alguns dos objetivos desse requisito são aumentar a tolerância a falhas, utilizar um servidor mais próximo a um usuário para atender sua requisição, decidir se um processamento será em tempo real ou em lote e adaptar dados de diferentes fontes para uma representação comum. Adaptação de dados, por exemplo, é bastante utilizada em plataformas que utilizam os conceitos de Internet das Coisas para adaptar o funcionamento das rede de sensores da cidade (Girtelschmid et al. 2013; Privat et al. 2014).
- **Extensibilidade:** A capacidade de adicionar serviços, componentes e aplicações à plataforma é importante para possibilitar a evolução da plataforma para atender a novos requisitos e funcionalidade que surgem ao longo do tempo. Para tanto é fundamental a utilização de boas práticas de Programação Orientada a Objetos e de Arquitetura de Software tais como os princípios SOLID e uma boa metodologia

ágil de desenvolvimento baseada fortemente em testes automatizados (Fox et al. 2015).

- **Configurabilidade:** Uma plataforma de cidade inteligente possui uma grande quantidade de configurações e parâmetros para adaptar o seu funcionamento a diferentes contextos em tempo de execução, por exemplo definindo limites de poluição e congestionamento e a prioridade de um serviço. Assim, é importante permitir a (re)configuração de diversas variáveis da plataforma. Pode-se utilizar um portal para centralizar as configurações da plataforma, porém, devido ao grande número de configurações necessárias, é desejável que a própria plataforma conheça o seu contexto de execução e consiga alterar dinamicamente suas configurações sem a necessidade da intervenção de um operador humano (Wan et al. 2012; Privat et al. 2014).

Observando os requisitos não-funcionais descritos nesta seção, é possível observar que eles são importantes para diversos requisitos funcionais. Por exemplo, Escalabilidade é importante para o gerenciamento da rede de sensores e dos dados da cidade. Segurança e Privacidade são importantes para todos os requisitos funcionais relacionados ao gerenciamento de dados da plataforma e Configurabilidade é importante para todas as funcionalidades da plataforma. Boa parte desses requisitos funcionais são também os principais desafios técnicos e científicos para o desenvolvimento de sistemas para cidades inteligentes que serão descritos na próxima seção.

1.7. Uma Arquitetura de Referência para Plataformas de Cidades Inteligentes

A partir dos requisitos funcionais e não-funcionais levantados na seção anterior, apresentamos agora uma arquitetura de referência destacando os elementos mais importantes para uma plataforma de software para cidades inteligentes e como eles se inter-relacionam. O principal objetivo desta arquitetura é facilitar a compreensão, implementação e a integração de serviços e aplicações para cidades inteligentes. A Figura 1.13 apresenta uma visão geral da arquitetura.

A camada **Nuvem e Infraestrutura de Rede** é responsável pela hospedagem e comunicação entre os dispositivos e os serviços de software implantados na cidade. O objetivo desse componente é possibilitar a integração física de todos os dispositivos que estão conectados à plataforma, incluindo servidores, sensores, atuadores e dispositivos de usuários. A Computação em Nuvem é usada como mecanismo de suporte a diversos requisitos não-funcionais essenciais na plataforma, tais como escalabilidade, elasticidade e extensibilidade.

Em um nível de abstração superior à camada de Nuvem e Rede, a arquitetura de referência prevê o **Middleware de IoT** e o **Middleware de Serviços**. O primeiro administra e faz a interface das “coisas” implantadas na cidade possibilitando uma efetiva comunicação desses dispositivos com a plataforma. O Middleware de Serviços gerencia os serviços que a plataforma irá disponibilizar para as aplicações que serão implementadas utilizando a plataforma, fornecendo funcionalidades como implantação, publicação, descoberta, monitoração e composição de serviços.

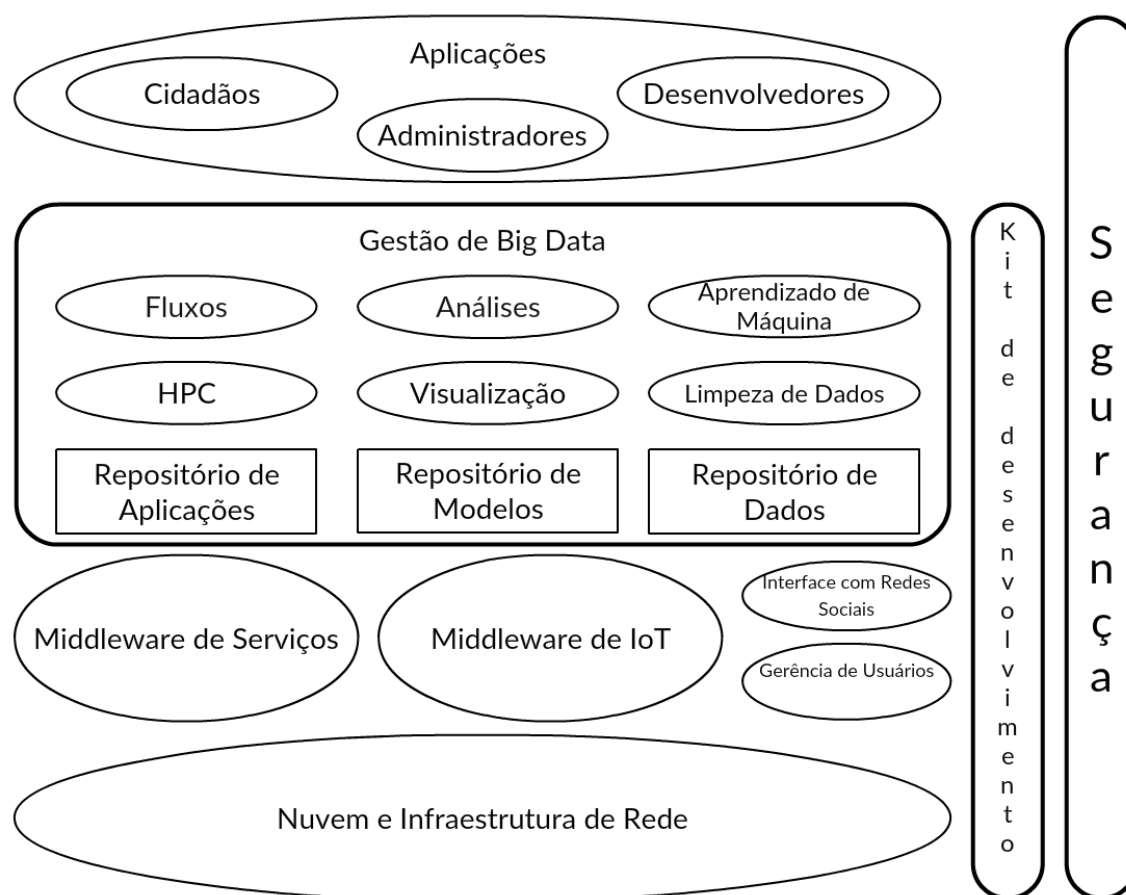


Figura 1.13. Arquitetura de Referência para Plataformas de Cidades Inteligentes

Para disponibilizar serviços e aplicações melhores para os cidadãos, é importante que a plataforma armazene alguns dados e preferências dos usuários, isso é papel do componente de **Gestão de Usuários**. Porém, para garantir a privacidade do usuário, esses dados devem ser devidamente protegidos e devem ser coletados apenas com a expressa autorização dos usuários. Além disso, como haverão diversas aplicações sendo executadas na plataforma, esses dados serão úteis para oferecer um mecanismo único de autenticação (*single sign-on*).

Redes Sociais serão bastante importantes para cidades inteligentes, podendo ser usadas para coletar dados sobre as condições da cidade a partir de atualizações de cidadãos e também como um canal eficiente de comunicação entre a plataforma, os administradores da cidade e a população. Portanto, é importante facilitar a integração da plataforma com as redes sociais existentes, o que é de responsabilidade do **Gateway de Rede Social**.

A **Gestão de Big Data** é uma camada reunindo vários módulos que cuidam da gestão dos dados na plataforma. Entre suas responsabilidades está o armazenamento dos dados da cidade inteligente e, para isso, são utilizados três repositórios: (1) um **Repositório de Aplicações** para armazenar as aplicações, incluindo seu código fonte, arquivos executáveis e documentação; (2) um **Repositório de Modelos** para armazenar os diversos modelos que descrevem a cidade tais como modelos de trânsito, da rede de sensores, da

rede de distribuição de energia e mapas e (3) um **Repositório de Dados** para armazenar dados coletados dos sensores, cidadãos e aplicações. Devido à diversidade de tipos e à quantidade de dados que serão coletados, existirão diversos repositórios de dados espalhados pela cidade que utilizarão tanto bancos de dados relacionais quanto NoSQL.

Além do armazenamento de dados, a camada de Gestão de Big Data também é responsável pelo processamento dos dados da cidade. Existem dois tipos de processamento que são mais adequados para diferentes situações: **Processamento de Fluxos de dados** para realizar o processamento de fluxos de dados contínuos e de processamento em tempo real e **Processamento em Lote**, para analisar grandes conjuntos de dados e realizar o processamento de dados históricos. Ainda, esse módulo deve ser capaz de realizar diversos tipos de pré-processamento como filtragem, normalização e transformações.

Existe ainda um componente incluindo algoritmos de aprendizado de máquina que tem como objetivo “descobrir” de forma automatizada o comportamento da cidade inferindo modelos que descrevem a dinâmica dos agentes presentes na cidade. Dessa forma, será possível o processamento dos dados históricos a fim de gerar modelos que serão utilizados para prever o comportamento futuro da cidade. Finalmente, como uma cidade inteligente vai produzir uma quantidade enorme de dados, um componente para fazer a **Limpeza de Dados** é necessário, excluindo dados que não são mais necessários e armazenando dados antigos em dispositivos mais lentos e com maior capacidade.

Inúmeras ferramentas de software livre de alta qualidade podem ser utilizadas para a implementação dessa camada. Para o processamento de fluxos de dados alguns exemplos são o Apache Storm e o Apache Spark. Para o processamento em lote de grandes conjuntos de dados o Apache Hadoop e o Apache Spark. Para os repositórios de dados, bancos de dados relacionais como o PostgreSQL e o MySQL para armazenar dados sobre a plataforma como usuários e configurações e bancos de dados NoSQL, tais como como o CouchDB, MongoDB ou Cassandra, para o armazenamento de dados de sensores e dispositivos.

Utilizando a plataforma e os componentes descritos acima, desenvolvedores de software poderão desenvolver mais facilmente aplicações para cidades inteligentes. Disponibilizando dados e serviços abertos da cidade, cidadãos comuns podem executar, ou até mesmo desenvolver novas aplicações sobre a infraestrutura da cidade inteligente utilizando os dados de sensores, dispositivos e de serviços da cidade. As aplicações, além de usar os dados da plataforma, também poderão gerar novos dados que serão salvos na plataforma e que poderão ser usados por outras aplicações.

A plataforma deve ainda disponibilizar ferramentas para facilitar o desenvolvimento das aplicações com um ambiente integrado de desenvolvimento (*Integrated Development Environment - IDE*), bibliotecas de componentes e *frameworks* e um simulador para permitir testes com diferentes cenários e situações.

Todos os componentes da plataforma devem levar em consideração vários dos requisitos não-funcionais apresentados na Seção 1.6.2 como escalabilidade, segurança, privacidade e interoperabilidade. Escalabilidade é fundamental por causa da quantidade de dados, dispositivos, usuários e serviços que uma plataforma de cidades inteligentes terá que gerenciar. Privacidade e Segurança são importantes porque uma plataforma de

idades inteligentes coleta, armazena e processa dados sensíveis dos cidadãos, empresas, ONGs e da administração da cidade. Interoperabilidade permitirá a operação integrada de diferentes tipos de serviços, dispositivos e aplicações.

1.8. Desafios Científicos e Tecnológicos

Nesta seção serão apresentados os principais desafios de pesquisa para a implantação de plataformas, aplicações e da infraestrutura de cidades inteligentes. Entre esses desafios estão a segurança e a confiabilidade das informações dos cidadãos, o custo e as dificuldades da criação e manutenção de infraestrutura, sistemas e plataformas e os desafios inerentes à implementação e implantação de grandes sistemas distribuídos como escalabilidade e heterogeneidade. Além disso, há ainda desafios sociais e culturais importante, como o incentivo à colaboração da população e o bom uso dos recursos públicos.

1.8.1. Privacidade

Diversos dados dos cidadãos serão manipulados pela infraestrutura, pelas aplicações e pelas plataformas de uma cidade inteligente. Esses dados devem ser protegidos para evitar que usuários mal-intencionados consigam acesso aos dados. Também é indispensável que a forma que os dados serão armazenados e usados sejam notificados aos usuários e que qualquer alteração seja avisada antecipadamente.

1.8.2. Segurança

Além de garantir a privacidade dos dados dos usuários, a infraestrutura da cidade também deve ser segura. Deve ser possível a prevenção e recuperação de ataques à segurança dos sistemas. Isso é importante, pois diversos serviços dependerão do correto funcionamento de todos os elementos da infraestrutura da cidade, como sensores, aplicações e plataformas. Além disso, com a evolução das cidades inteligentes, o cidadão deve ficar dependente desses serviços, assim como hoje a maioria da população de uma grande cidade é dependente do sistema de transporte público.

Alguns exemplos de ataques que uma cidade inteligente pode sofrer são: ataque à infraestrutura de hardware, alterando os valores de leitura de sensores, ataques de negação de serviço, que deixam serviços indisponíveis e vandalismo nos elementos físicos da cidade (Piro et al. 2014; Hernández-Muñoz et al. 2011; Petrolo et al. 2014).

Alguns autores discutem que a cidade deve assegurar que seus sistemas sejam a prova de ciberterrorismo e cibervandalismo destacando que uma cidade com uma rede de sensores e atuadores deve ser especialmente segura, pois um usuário malicioso pode controlar a infraestrutura da cidade causando sérios problemas como acidentes, erros na leituras de dados e ataques aos serviços públicos (Hancke et al. 2012; Gurgun et al. 2013).

1.8.3. Gestão dos Dados

Uma das principais características de cidades inteligentes é o grande volume de dados gerados. Esses dados podem ser estruturados, como as informações dos cidadãos, semi-estruturados como dados de leituras de sensores e não-estruturados como os fluxos de imagens de câmeras de tráfego e de segurança.

Alguns dos desafios de pesquisa nessa área são:

- **Armazenamento:** A quantidade de dados que deverão ser salvos em uma cidade inteligente é muito grande, por isso são necessárias ferramentas que sejam capazes lidar com esse volume. Também serão necessários mecanismos que facilitem o armazenamento e recuperação de dados de estruturados e não estruturados.
- **Processamento:** Assim como no item anterior, para comportar o grande volume de dados, serão necessárias ferramentas que consigam fazer o processamento em um tempo aceitável. Algumas ferramentas já estão começando a ser usadas para esse fim como o Spark, o Hadoop e o Storm, mas muita pesquisa ainda é necessária para torná-las eficazes para a enorme quantidade de possibilidades de uso que se abre com as aplicações em cidades inteligentes.
- **Modelos:** Além do desempenho, outro desafio é a dificuldade da construção de modelos de dados completos e eficientes para que seja possível o processamento dos dados, a implementação de aplicações e a utilização de algoritmos de agregação, clusterização e inferência. Pesquisas científicas e tecnológicas nas áreas de Inteligência Artificial, Mineração de Dados, Reconhecimento de Padrões e Aprendizado de Máquina serão necessárias para solucionar esses problemas.
- **Confiança:** Os diversos dispositivos que compõem uma cidade inteligente estão sujeitos a falhas. Por isso, é necessário o uso de ferramentas e algoritmos de validação dos dados. Por exemplo, em uma região da cidade em que o sinal do GPS não estiver bom, a leitura da posição de um ônibus ou de um sensor pode ser incorreta. Os desafios aqui são tanto diferenciar os dados bons dos dados ruins quanto desenvolver mecanismos para inferir os dados corretos a partir do conjunto total de dados disponíveis.

Em todos os desafios citados acima, é necessário garantir diversos requisitos não-funcionais como elasticidade (permitindo que a quantidade de recursos utilizados seja adequada à demanda), escalabilidade (para que o hardware e os serviços suportem picos de demanda) e privacidade (porque os dados analisados pertencerão aos cidadãos ou organizações da cidade).

1.8.4. Escalabilidade

Todos os componentes de uma cidade inteligente devem ser escaláveis para conseguir atender o crescimento da demanda por serviços e dados da cidade. Isso é necessário devido ao aumento populacional que a cidade pode ter e também para suportar eventos inesperados que podem fazer o acesso às aplicações e plataformas aumentarem ordens de magnitude em um pequeno intervalo de tempo, tais como grandes eventos, engarrafamentos e desastres naturais.

Além disso, é esperado que a quantidade de dados coletados aumente constantemente, devida à implantação de mais dispositivos, à criação de novos serviços e aplicações e ao aumento populacional. Por isso, um dos principais desafios na implantação da infraestrutura e na implementação de plataformas, serviços e aplicações é garantir que eles sejam escaláveis.

1.8.5. Heterogeneidade

A interoperabilidade entre a infraestrutura, aplicações e plataformas é um dos principais desafios para a construção de uma cidade inteligente. Para isso, é necessário lidar com a grande heterogeneidade dos componentes de hardware e software que compõem o ambiente de uma cidade inteligente.

Alguns exemplos de onde esse desafio ocorre são: na instalação de múltiplos sensores e atuadores de diferentes fabricantes que possuem diferentes protocolos, nos diferentes tipos de semáforos que já estão instalados nas cidades e utilizam diferentes protocolos de comunicação e nas aplicações legadas da cidade que foram implementadas com diferentes linguagens de programação e interfaces quase nunca compatíveis.

Alguns autores citam diferentes módulos de uma cidade inteligente que devem lidar com esse desafio. Naphade et al. (Naphade et al. 2011) discute o problema dos dados que são coletados de diversas fontes e que necessitam de um modelo comum para poderem ser agregados e processados. Outros autores (Wenge et al. 2014) defendem a definição de padrões em vista dos dispositivos, sistemas e domínios heterogêneos.

1.8.6. Manutenção e Implantação da Infraestrutura

A criação de um ambiente de cidade inteligente demandará diversos investimentos para a implantação da infraestrutura necessária, como a implantação de uma rede de sensores e atuadores, a melhoria das redes sem fio, a integração entre os diferentes sistemas da cidade e a coleta de dados da infraestrutura já existente como pontos de ônibus e semáforos.

Após a implantação, será necessário também fazer a manutenção de todos esses componentes, pois todos estão sujeitos a falhas parciais e a quebras por completo. Por exemplo, um sensor pode ser danificado por vandalismo ou por acidente, ou pode fornecer dados errados por uma falha natural do equipamento. Isso será especialmente desafiador devido à grande quantidade de dispositivos instalados.

Este é um desafio técnico importante pois, mesmo a manutenção da infraestrutura já existente como ruas, semáforos, pontos de ônibus, sinalização e praças, já não é a ideal em muitas partes do mundo.

A dificuldade da manutenção de todo o software e hardware necessário para uma cidade inteligente, principalmente por causa da quantidade de dispositivos espalhados pela cidade é um desafio enorme (Perera et al. 2014; Wenge et al. 2014; Hancke et al. 2012). Parece ser fundamental a adoção de estratégias baseadas em monitoramento automático acopladas à solução automatizada de problemas com a infraestrutura.

1.8.7. Custos

Um problema para a implantação de uma infraestrutura de cidades inteligentes são os custos para a construção de todos os componentes necessários. Esse custo inclui a aquisição e instalação de todos os dispositivos necessários na cidade como sensores, atuadores, servidores e equipamentos de comunicação, o desenvolvimento do software, a contratação de equipes para manutenção e gerenciamento e a adaptação às mudanças nos processos da cidade.

Al Nuaimi et al. (Al Nuaimi et al. 2015) discutem a possibilidade de um projeto de cidade inteligente não ser corretamente desenvolvido, acarretando em custos elevados que serão desperdiçados. Alguns exemplos citados são o uso de um novo sistema de semáforos, que se for mal implementado pode piorar o trânsito e até causar acidentes. Por isso, é citada a necessidade de monitoramento constante de todas as iniciativas de cidades inteligentes e o desenvolvimento de projetos pilotos em escala reduzida antes da implantação em toda a cidade.

Outro problema, também relacionado a custos, é que os benefícios da implantação de muitos dos serviços de cidades inteligentes apenas são percebidos pela população no longo prazo. Isso desincentiva os políticos, que muitas vezes estão interessados apenas na próxima eleição, a investirem em projetos desse tipo que possuem um custo elevado e que não necessariamente trazem benefícios a curto prazo.

1.8.8. Colaboração

Um desafio importante é incentivar a população a utilizar os serviços que serão disponibilizados na cidade e a compartilhar dados e informações sobre esse uso. Muitos dos serviços de cidades inteligentes dependem do engajamento da população. Wu et al. (Wu et al. 2014) cita a necessidade da criação de sistemas que incentivem a colaboração criando um ambiente onde os usuário de serviços e aplicações tenham uma relação de benefício mútuo quando eles contribuem, compartilham e usam dados da cidade.

Um projeto interessante para aumentar o engajamento da população em aplicações de Cidades Inteligentes é o sistema MITOS (*Multi-Input TranspOrt planning System*) (Diamantaki et al. 2013) que incorpora na plataforma SmartSantander elementos e mecanismos de jogos. O sistema permite a distribuição de premiações para usuários que realizam uma ou um conjunto de tarefas, como por exemplo o usuário que utilizou mais o transporte público em um mês, ou que pegou um determinado número de ônibus em um dia.

1.9. Implicações

Para melhorar a qualidade de vida das pessoas e otimizar o uso dos recursos da cidade, diversas iniciativas e intervenções serão necessárias na cidade para que elas fiquem mais “inteligentes”. Isso traz diversas implicações para diversos agentes envolvidos nos processos da cidade como cidadãos, prefeitos, vereadores, desenvolvedores, administradores de sistemas, empreendedores e cientistas.

O principal objetivo de cidades inteligentes é a melhora na qualidade de vida dos cidadãos, isso será alcançado através do desenvolvimento de serviços e aplicações inteligentes utilizando os dados coletados na cidade e atuando sobre o seu espaço otimizando o funcionamento dos equipamentos e da infraestrutura urbana. Isso alterará profundamente o dia-a-dia das pessoas, facilitando tomadas de decisões baseadas em informações mais confiáveis e economizando tempo com novos e melhores serviços. Além disso, para melhorar os resultados das novas aplicações e serviços, as pessoas devem participar ativamente desses sistemas, compartilhando seus dados com as aplicações e com outros cidadãos.

As tecnologias citadas neste capítulo indicam a infraestrutura necessária para a implantação de ambientes de Cidades Inteligentes. Isso pode ajudar administradores da cidade a tomar decisões quanto aos investimentos necessários como a compra, instalação e manutenção da rede de sensores, a quantidade de servidores e dispositivos de comunicação necessários e os custos para o desenvolvimento dos sistemas necessários para a cidade. Além disso, é possível analisar as iniciativas de cidades inteligentes existentes e definir quais terão maior impacto na cidade.

Para desenvolvedores de aplicações e *startups* que implementam aplicações relacionadas a cidades, essas iniciativas abrem uma grande oportunidade de negócios, principalmente com a utilização dos dados que as prefeituras disponibilizam em portais de dados abertos ou via APIs com dados em tempo real.

Finalmente, para pesquisadores da área de cidades inteligentes, é necessário entender os desafios técnicos e científicos ainda em aberto para a criação de uma cidade verdadeiramente inteligente. Também será necessário pesquisar quais os impactos (positivos e negativos) que essas tecnologias trarão para o cidadão, administradores, meio ambiente e os serviços da cidade.

1.10. Conclusões

Com o crescimento da população das grandes cidades ao redor mundo e o grande número de problemas que elas enfrentam, a necessidade de tornar as cidades mais inteligentes é cada vez maior. Os principais benefícios disso são a otimização da infraestrutura e serviços da cidade, o uso mais sustentável dos recursos e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade de vida da população.

Este capítulo mostrou diversas iniciativas de cidades inteligentes ao redor do mundo como nas cidades de Santader, Amsterdã e Barcelona. Esses exemplos mostram que existem diversos projetos interessantes sendo desenvolvidos, mas que, em 2016, nenhuma cidade ainda possui uma infraestrutura completa de hardware e software para a coleta e análise dos dados urbanos e o desenvolvimento de aplicações e serviços para os cidadãos.

Além dessas iniciativas práticas, discutimos diversos projetos de pesquisa que estão desenvolvendo plataformas de software servindo de suporte para a implementação de aplicações e processamento dos dados coletados na cidade. Entre as funcionalidades oferecidas por essas plataformas estão o gerenciamento de dados e serviços e o fornecimento de ferramentas que facilitam o desenvolvimento de aplicações. Além disso, as plataformas buscam prover um conjunto essencial de requisitos não-funcionais como escalabilidade, adaptação e sensibilidade ao contexto.

Ainda existem uma grande quantidade de desafios técnicos e de pesquisa no desenvolvimento de cidades inteligentes que precisa ser melhor explorados. Entre eles destacamos a necessidade de garantir a privacidade dos dados dos usuários nos sistemas da cidade, a segurança para tornar a infraestrutura e os sistemas da cidade a prova de usuários mal-intencionados, a escalabilidade na comunicação, armazenamento e processamento de dados para que mais cidadãos possam usar os serviços oferecidos, os altos custos ainda proibitivos em muitos casos e a dificuldade de manutenção de toda a infraestrutura de hardware e software da cidade que podem tornar as iniciativas de Cidades Inteligentes

inviáveis.

Nas próximas duas décadas, presenciaremos o surgimento de centenas de cidades ao redor do mundo onde a Tecnologia da Informação e da Comunicação estará totalmente permeada no ambiente urbano ajudando a tornar as cidades mais sustentáveis, agradáveis e eficientes e menos estressantes e violentas.

Esperamos que a comunidade científica, trabalhando conjuntamente com nossos empreendedores, governantes e a população, possam desenvolver soluções criativas e eficazes para os desafios elencados acima de forma a atingir o objetivo essencial das cidades inteligentes: contribuir para a melhoria da qualidade de vida de todos os habitantes das cidades.

Referências

- Aazam, M., Khan, I., Alsaffar, A. A., and Huh, E.-N. (2014). Cloud of things: Integrating internet of things and cloud computing and the issues involved. In *Applied Sciences and Technology (IBCAST), 2014 11th International Bhurban Conference on*, pages 414–419. IEEE.
- Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N., and Al-Jaroodi, J. (2015). Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(1):25.
- AlAwadhi, S. and Scholl, H. J. (2013). Aspirations and realizations: The smart city of seattle. In *System Sciences (HICSS), 2013 46th Hawaii International Conference on*, pages 1695–1703. IEEE.
- Anagnostopoulos, T., Kolomvatsos, K., Anagnostopoulos, C., Zaslavsky, A., and Hadji-efthymiades, S. (2015). Assessing dynamic models for high priority waste collection in smart cities. *Journal of Systems and Software*, 110:178 – 192.
- Apolinarski, W., Iqbal, U., and Parreira, J. X. (2014). The gambas middleware and sdk for smart city applications. In *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2014 IEEE International Conference on*, pages 117–122.
- Bain, M. (2014). Sentilo - sensor and actuator platform for smart cities.
- Ballon, P., Glidden, J., Kranas, P., Menychtas, A., Ruston, S., and Van Der Graaf, S. (2011). Is there a need for a cloud platform for european smart cities? In *eChallenges e-2011 Conference Proceedings, IIMC International Information Management Corporation*.
- Barba, C. T., Mateos, M. A., Soto, P. R., Mezher, A. M., and Igartua, M. A. (2012). Smart city for vanets using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE*, pages 902–907. IEEE.
- Bressan, N., Bazzaco, L., Bui, N., Casari, P., Vangelista, L., and Zorzi, M. (2010). The deployment of a smart monitoring system using wireless sensor and actuator networks. In *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on*, pages 49–54.

- Bui, N. and Zorzi, M. (2011). Health care applications: a solution based on the internet of things. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies*, page 131. ACM.
- Calbimonte, J.-P., Sarni, S., Eberle, J., and Aberer, K. (2014). Xgsn: An open-source semantic sensing middleware for the web of things. In *7th International Workshop on Semantic Sensor Networks*, number EPFL-CONF-200926.
- Caragliu, A., Del Bo, C., and Nijkamp, P. (2011). Smart cities in europe. *Journal of urban technology*, 18(2):65–82.
- Cardoso, R. S. and Issarny, V. (2007). Architecting pervasive computing systems for privacy: A survey. In *The Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture, 2007. WICSA'07*. IEEE.
- Chen, M., Mao, S., and Liu, Y. (2014). Big data: A survey. *Mobile Networks and Applications*, 19(2):171–209.
- Cheng, B., Longo, S., Cirillo, F., Bauer, M., and Kovacs, E. (2015). Building a big data platform for smart cities: Experience and lessons from santander. In *Big Data (BigData Congress), 2015 IEEE International Congress on*, pages 592–599.
- Cocchia, A. (2014). Smart and digital city: A systematic literature review. In Dameri, R. P. and Rosenthal-Sabroux, C., editors, *Smart City*, Progress in IS, pages 13–43. Springer International Publishing.
- Coetzee, L. and Eksteen, J. (2011). The internet of things – promise for the future? an introduction. In *IST-Africa Conference Proceedings, 2011*, pages 1–9.
- Dameri, R. P. (2013). Searching for smart city definition: a comprehensive proposal. *International Journal of Computers & Technology*, 11(5):2544–2551.
- Demchenko, Y., de Laat, C., and Membrey, P. (2014). Defining architecture components of the big data ecosystem. In *Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2014 International Conference on*, pages 104–112. IEEE.
- Diamantaki, K., Rizopoulos, C., Tsetsos, V., Theona, I., Charitos, D., and Kaimakamis, N. (2013). Integrating game elements for increasing engagement and enhancing user experience in a smart city context. In *Intelligent Environments (Workshops)*, pages 160–171.
- Distefano, S., Merlino, G., and Puliafito, A. (2012). Enabling the cloud of things. In *Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), 2012 Sixth International Conference on*, pages 858–863. IEEE.
- Djahel, S., Doolan, R., Muntean, G., and Murphy, J. (2014). A communications-oriented perspective on traffic management systems for smart cities: Challenges and innovative approaches. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, PP(99):1–1.

- Elmangoush, A., Coskun, H., Wahle, S., and Magedanz, T. (2013). Design aspects for a reference m2m communication platform for smart cities. In *Innovations in Information Technology (IIT), 2013 9th International Conference on*, pages 204–209.
- Foell, S., Kortuem, G., Rawassizadeh, R., Handte, M., Iqbal, U., and Marrón, P. (2014). Micro-navigation for urban bus passengers: Using the internet of things to improve the public transport experience. In *Proceedings of the First International Conference on IoT in Urban Space, URB-IOT '14*, pages 1–6, ICST, Brussels, Belgium, Belgium. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- Fortes, M., Ferreira, V., Sotelo, G., Cabral, A., Correia, W., and Pacheco, O. (2014). Deployment of smart metering in the búzios city. In *Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA), 2014 IEEE PES*, pages 1–6. IEEE.
- Fox, A., Patterson, D. A., and Joseph, S. (2013). *Engineering software as a service: An Agile approach using Cloud Computing*. Strawberry Canyon LLC.
- Fox, A., Patterson, D. A., and Joseph, S. (2015). *Construindo Software como Serviço: Uma Abordagem Ágil Usando Computação em Nuvem*. Strawberry Canyon LLC.
- Franke, T., Lukowicz, P., and Blanke, U. (2015). Smart crowds in smart cities: real life, city scale deployments of a smartphone based participatory crowd management platform. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(1):1–19.
- Galache, J. A., Yonezawa, T., Gurgen, L., Pavia, D., Grella, M., and Maeomichi, H. (2014). Clout: Leveraging cloud computing techniques for improving management of massive iot data. In *Service-Oriented Computing and Applications (SOCA), 2014 IEEE 7th International Conference on*, pages 324–327.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., and Meijers, E. (2007). Smart cities-ranking of european medium-sized cities. Technical report, Vienna University of Technology.
- Girtelschmid, S., Steinbauer, M., Kumar, V., Fensel, A., and Kotsis, G. (2013). Big data in large scale intelligent smart city installations. In *Proceedings of International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services, IIWAS '13*, pages 428:428–428:432, New York, NY, USA. ACM.
- Goldman, A., Kon, F., Junior, F. P., Polato, I., and de Fátima Pereira, R. (2012). Apache hadoop: conceitos teóricos e práticos, evolução e novas possibilidades. *XXXI Jornadas de atualizações em informatica*.
- Guan, L. (2012). Smart steps to a battery city. *Government News*, 32(2):24–27.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645–1660.

- Gurgen, L., Gunalp, O., Benazzouz, Y., and Gallissot, M. (2013). Self-aware cyber-physical systems and applications in smart buildings and cities. In *Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE), 2013*, pages 1149–1154.
- Hall, P. et al. (2000). Creative cities and economic development. *Urban studies*, 37(4):639–649.
- Hancke, G. P., Hancke Jr., G. P., et al. (2012). The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors*, 13(1):393–425.
- Handte, M., Iqbal, M. U., Wagner, S., Apolinarski, W., Marrón, P. J., Navarro, E. M. M., Martinez, S., Barthelemy, S. I., and Fernández, M. G. (2014). Crowd density estimation for public transport vehicles. In *EDBT/ICDT Workshops*, pages 315–322.
- Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., and Williams, P. (2010). Foundations for smarter cities. *IBM Journal of Research and Development*, 54(4):1–16.
- Hernández-Muñoz, J. M., Vercher, J. B., Muñoz, L., Galache, J. A., Presser, M., Hernández Gómez, L. A., and Pettersson, J. (2011). Smart cities at the forefront of the future internet. volume 6656, pages 447–462.
- Hussain, A., Wenbi, R., da Silva, A. L., Nadher, M., and Mudhish, M. (2015). Health and emergency-care platform for the elderly and disabled people in the smart city. *Journal of Systems and Software*, 110:253 – 263.
- Issarny, V., Georgantas, N., Hachem, S., Zarras, A., Vassiliadist, P., Autili, M., Gerosa, M. A., and Hamida, A. (2011). Service-oriented middleware for the future internet: state of the art and research directions. *Journal of Internet Services and Applications*, 2(1):23–45.
- Janajreh, I., Su, L., and Alan, F. (2013). Wind energy assessment: Masdar city case study. *Renewable energy*, 52:8–15.
- Khan, Z., Anjum, A., and Kiani, S. L. (2013). Cloud based big data analytics for smart future cities. In *Utility and Cloud Computing (UCC), 2013 IEEE/ACM 6th International Conference on*, pages 381–386.
- Khan, Z., Anjum, A., Soomro, K., and Tahir, M. A. (2015). Towards cloud based big data analytics for smart future cities. *Journal of Cloud Computing*, 4(1):1–11.
- Komninos, N. and Tsarchopoulos, P. (2013). Toward intelligent thessaloniki: From an agglomeration of apps to smart districts. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2):149–168.
- Kshetri, N., Alcantara, L. L., and Park, Y. (2014). Development of a smart city and its adoption and acceptance: the case of new songdo. *Communications & Strategies*, (96):113.

- Le-Phuoc, D., Nguyen-Mau, H. Q., Parreira, J. X., and Hauswirth, M. (2012). A middleware framework for scalable management of linked streams. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 16:42–51.
- Lee, Y. W. and Rho, S. (2010). U-city portal for smart ubiquitous middleware. In *Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on*, volume 1, pages 609–613.
- Leite, L., Moreira, C. E., Cordeiro, D., Gerosa, M. A., and Kon, F. (2014). Deploying large-scale service compositions on the cloud with the choreos enactment engine. In *13th IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (NCA)*, pages 121–128. IEEE.
- Liu, P. and Peng, Z. (2013). Smart cities in china. *IEEE Computer Society*, 16.
- Manville, C., Cochrane, G., Cave, J., Millard, J., Pederson, J. K., Thaarup, R. K., Liebe, A., Wissner, M., Massink, R., and Kotterink, B. (2014). Mapping smart cities in the eu.
- Mitton, N., Papavassiliou, S., Puliafito, A., and Trivedi, K. (2012). Combining cloud and sensors in a smart city environment. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012(1).
- Mylonas, G., Theodoridis, E., and Munoz, L. (2015). Integrating smartphones into the smartantander infrastructure. *Internet Computing, IEEE*, 19(2):48–56.
- Naphade, M., Banavar, G., Harrison, C., Paraszczak, J., and Morris, R. (2011). Smarter cities and their innovation challenges. *Computer*, 44(6):32–39.
- Papa, R., Gargiulo, C., and Galderisi, A. (2013). Towards an urban planners’ perspective on smart city. *TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 6(01):5–17.
- Parkavi, A. and Vetrivelan, N. (2013). A smart citizen information system using hadoop: A case study. In *Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), 2013 IEEE International Conference on*, pages 1–3.
- Pereira, R. L., Sousa, P. C., Barata, R., Oliveira, A., and Monsieur, G. (2015). Citysdk tourism api-building value around open data. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(1):1–13.
- Perera, C., Zaslavsky, A. B., Christen, P., and Georgakopoulos, D. (2014). Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things. *Trans. Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1):81–93.
- Pérez-González, D. and Díaz-Díaz, R. (2015). Public services provided with ict in the smart city environment: The case of spanish cities. *Journal of Universal Computer Science*, 21(2):248–267.
- Petrolo, R., Loscri, V., and Mitton, N. (2014). Towards a Cloud of Things Smart City. *IEEE COMSOC MMTTC E-Letter*, 9(5):44–48.

- Piro, G., Cianci, I., Grieco, L. A., Boggia, G., and Camarda, P. (2014). Information centric services in smart cities. *Journal of Systems and Software*, 88(0):169 – 188.
- Polato, I., Ré, R., Goldman, A., and Kon, F. (2014). A comprehensive view of hadoop research—a systematic literature review. *Journal of Network and Computer Applications*, 46:1–25.
- Privat, G., Zhao, M., and Lemke, L. (2014). Towards a shared software infrastructure for smart homes, smart buildings and smart cities. In *International Workshop on Emerging Trends in the Engineering of Cyber-Physical Systems, Berlin*.
- Sanchez, L., Muñoz, L., Galache, J. A., Sotres, P., Santana, J. R., Gutierrez, V., Ramdhany, R., Gluhak, A., Krco, S., Theodoridis, E., et al. (2014). Smartsantander: Iot experimentation over a smart city testbed. *Computer Networks*, 61:217–238.
- Stephenson, M., Di Lorenzo, G., and Aonghusa, P. M. (2012). Open innovation portal: A collaborative platform for open city data sharing. In *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2012 IEEE International Conference on*, pages 522–524. IEEE.
- Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., and Woelfflé, S. (2010). Vision and challenges for realising the internet of things.
- Takahashi, K., Yamamoto, S., Okushi, A., Matsumoto, S., and Nakamura, M. (2012). Design and implementation of service api for large-scale house log in smart city cloud. In *Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2012 IEEE 4th International Conference on*, pages 815–820.
- Tei, K. and Gurgen, L. (2014). Clout: Cloud of things for empowering the citizen clout in smart cities. In *Internet of Things (WF-IoT), 2014 IEEE World Forum on*, pages 369–370. IEEE.
- Thornton, S. (2013). Chicago’s windygrid: Taking situational awareness to a new level.
- United Nations (2009). Urban and rural areas 2009.
- Vakali, A., Anthopoulos, L., and Krco, S. (2014). Smart cities data streams integration: Experimenting with internet of things and social data flows. In *Proceedings of the 4th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS14)*, WIMS ’14, pages 60:1–60:5, New York, NY, USA. ACM.
- Villanueva, F. J., Santofimia, M. J., Villa, D., Barba, J., and Lopez, J. C. (2013). Civitas: The smart city middleware, from sensors to big data. In *Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), 2013 Seventh International Conference on*, pages 445–450.
- Vlahogianni, E. I., Kepaptsoglou, K., Tsetos, V., and Karlaftis, M. G. (2014). Exploiting new sensor technologies for real-time parking prediction in urban areas. In *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting Compendium of Papers*, pages 14–1673.

- Wan, J., Li, D., Zou, C., and Zhou, K. (2012). M2m communications for smart city: An event-based architecture. In *Computer and Information Technology (CIT), 2012 IEEE 12th International Conference on*, pages 895–900.
- Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R., Hayes, N., and Nelson, L. (2009). Helping cities understand “smart city” initiatives. *Growth*, 17:2.
- Wenge, R., Zhang, X., Cooper, D., Chao, L., and Hao, S. (2014). Smart city architecture: A technology guide for implementation and design challenges. *Communications, China*, 11(3):56–69.
- Wu, C., Birch, D., Silva, D., Lee, C.-H., Tsinalis, O., and Guo, Y. (2014). Concinnity: A generic platform for big sensor data applications. *Cloud Computing, IEEE*, 1(2):42–50.
- Yamamoto, S., Matsumoto, S., Saiki, S., and Nakamura, M. (2014). Using materialized view as a service of scallop4sc for smart city application services. In *Soft Computing in Big Data Processing*, pages 51–60. Springer.
- Yin, C., Xiong, Z., Chen, H., Wang, J., Cooper, D., and David, B. (2015). A literature survey on smart cities. *Science China Information Sciences*, pages 1–18.
- Zaharia, M., Chowdhury, M., Franklin, M. J., Shenker, S., and Stoica, I. (2010). Spark: cluster computing with working sets. In *Proceedings of the 2nd USENIX conference on Hot topics in cloud computing*, volume 10, page 10.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., and Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *Internet of Things Journal, IEEE*, 1(1):22–32.