

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

**Uma abordagem arquitetural de simulação
para cidades inteligentes e o paradigma de
Internet das Coisas**

Mateus Gonçalo do Nascimento

JUIZ DE FORA
NOVEMBRO, 2019

Uma abordagem arquitetural de simulação para cidades inteligentes e o paradigma de Internet das Coisas

MATEUS GONÇALO DO NASCIMENTO

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Bacharelado em Sistemas de Informação

Orientador: José Maria Nazar David
Coorientador: Mario Antonio Ribeiro Dantas

JUIZ DE FORA
NOVEMBRO, 2019

UMA ABORDAGEM ARQUITETURAL DE SIMULAÇÃO PARA
CIDADES INTELIGENTES E O PARADIGMA DE INTERNET DAS
COISAS

Mateus Gonçalo do Nascimento

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS
EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTE-
GRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.

Aprovada por:

José Maria Nazar David
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação/UFRJ

Mario Antonio Ribeiro Dantas
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação/UFRJ

Edelberto Franco Silva
Doutor em Computação

Luciana Brugiolo Gonçalves
Doutora em Computação

JUIZ DE FORA
27 DE NOVEMBRO, 2019

Aos meus amigos e professores.

À minha família e aos meus pais.

Pelo apoio e por sempre acreditarem em mim.

Resumo

As cidades inteligentes têm se expandido ao redor do mundo e, inclusive, já são a realidade de muitos locais. A Internet das Coisas têm permitido que os mais diferentes objetos gerem dados, se comuniquem e ainda possam receber instruções por meio de protocolos de transmissão de rede. A união das cidades inteligentes e da Internet das Coisas permitiu a criação de um ambiente interativo, o que possibilitou que uma grande quantidade de novos trabalhos científicos e produtos pudessem ser estudados e desenvolvidos. Entretanto, o desenvolvimento, testes e validações de softwares contidos nos ambientes inteligentes não é uma tarefa fácil, devido a complexidades do meio e problemas infraestruturais dos centros urbanos. Diante disso, este trabalho propõe uma arquitetura de software baseada em simulações projetadas de cidades inteligentes, a qual permite a presença de dispositivos que utilizem o paradigma de Internet das Coisas, de forma que seja possível reproduzir ambientes reais e as complexidades sejam diminuídas.

Palavras-chave: Cidades inteligentes, Internet das Coisas, arquitetura de software, simulação projetada.

Abstract

Smart cities have expanded around the world and are even the reality of many of these places. The Internet of Things has permitted that different objects generate data, communicate, and can still receive instructions through network transmission protocols. The union of smart cities and the Internet of Things have allowed the creation of an interactive environment, which enabled that a great deal of new scientific work and products that can be studied and developed. However, the development, testing and validation of softwares contained in this place is not an easy task due to the complexities of the environment and infrastructure problems in urban centers. Given this, this work offers a software architecture that uses simulations designed for smart cities, which allows the presence of objects that use the Internet of Things paradigm, so that real environments can be created and and the previous complexities are diminished.

Keywords: Smart cities, Internet of Things, software architecture, projected simulation.

Agradecimentos

A Deus, em primeiro lugar, por sempre ter me guiado e iluminado o meu caminho. Permitindo que eu fosse em busca das minhas vitórias, me dando saúde e me abençoando com ótimas pessoas ao meu redor.

À minha família que sempre me apoiou, independentemente da distância e mesmo eu não estando sempre presente. Em especial, a minha mãe e a minha avó que mesmo após o falecimento do meu pai, nunca deixaram que faltasse nada e me proporcionaram tudo o necessário para que eu chegasse até aqui. Sem elas, nada disso teria sido possível.

Ao meu pai, mesmo que não estando mais presente, sempre olhou por mim e me auxiliou a ser o homem que sou hoje. Aos meus irmãos, padrinho, madrinha e meus primos, muito obrigado por todo apoio, encorajamento e nunca terem deixado de acreditar em mim.

Ao meu amor, por sempre ter me apoiado e estar presente em todos os momentos, nunca abrindo mão de me auxiliar e me encorajar para que eu alcance todos os objetivos que almejo. Não tenho palavras para descrever seu apoio.

Aos meus amigos, que estiveram comigo desde quando era criança e os que se aproximaram durante a vida, meu muito obrigado pelo companheirismo em todos os momentos.

Ao professores José Maria Nazar David e Mario Antonio Ribeiro Dantas pela orientação e co-orientação, amizade, dicas, conselhos e principalmente, pela paciência, sem a qual este trabalho não se realizaria.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação pelos seus ensinamentos e aos funcionários do curso, que durante esses anos, contribuíram de algum modo para o nosso enriquecimento pessoal e profissional.

“Tenha coragem de seguir o que seu coração e sua intuição dizem. Eles já sabem o que você realmente deseja. Todo resto é secundário”.

Steve Jobs

Conteúdo

Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	8
Lista de Abreviações	9
1 Introdução	10
1.1 Desafio de pesquisa	11
1.2 Objetivos	12
1.3 Organização do trabalho	13
2 Fundamentação teórica	14
2.1 Cidades inteligentes	14
2.2 Internet das Coisas	17
2.3 Trabalhos Relacionados	20
3 Proposta de solução	26
3.1 Atributos de qualidade	26
3.2 A arquitetura	30
3.2.1 Módulo de simulação	32
3.2.2 Módulo de processamento e persistência dos dados	34
3.2.3 Módulo de exibição dos dados	35
4 Simulação	37
4.1 Comparação de simuladores	37
4.2 Experimento	39
5 Conclusões	48
Bibliografia	50
A Apêndice Instalação do Siafu	52
B Apêndice Como executar e obter o código fonte da simulação da Universidade Federal de Juiz de Fora	53
C Apêndice Instruções para a criação de simulações	54
D Apêndice Rotina em Python para lidar com dados	56

Lista de Figuras

2.1	Utilização de <i>digital</i> e <i>smart</i> durante os anos (COCCHIA, 2014).	15
2.2	Domínios e sub-domínios das cidades inteligentes (NEIROTTI et al., 2014).	16
2.3	Ecossistema de uma cidade inteligente que utiliza IoT (GRIZHNEVICH, 2018).	18
3.1	Atributos de qualidade para a arquitetura proposta.	27
3.2	Arquitetura proposta baseada em simulações projetadas.	31
3.3	Arquiteturas que não utilizam simulação.	32
4.1	Mapa da simulação utilizado no Siafu.	40
4.2	Protótipo de aplicação que utiliza a arquitetura apresentada.	41
4.3	Interface gráfica para exibição dos dados por meio do Siafu.	42
4.4	Dados gerados pela simulação em um arquivo de extensão .csv.	43
4.5	Pluviometria às 11 horas e 30 minutos	44
4.6	Nebulosidade às 11 horas e 30 minutos.	44
4.7	Temperatura às 11 horas e 30 minutos.	45
4.8	Atividade sendo realizada às 12 horas.	46
4.9	Horário da aula dos estudantes da simulação.	46

Lista de Tabelas

4.1 Síntese dos simuladores	39
---------------------------------------	----

Lista de Abreviações

API	Application Programming Interface
DCC	Departamento de Ciência da Computação
IoT	Internet of Things
RFID	Identificadores de rádio frequência
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

1 Introdução

Nos últimos anos, um grande fenômeno de transformação tem sucedido nas formações urbanas. As chamadas cidades inteligentes (*smart cities*) são interpretadas como um grande conjunto de sistemas que conecta outros sistemas menores e componentes tecnológicos. Esses podem ser compreendidos em: câmeras, sensores e outros dispositivos interligados em um só ecossistema (CHOURABI et al., 2012). Além disso, este organismo tecnológico, transforma a realidade social e os meios em que as pessoas estão inseridas.

Foi a partir de 2004 que as cidades inteligentes ganharam força, avançaram e se expandiram. Este progresso fez com que muitos problemas, que assolavam os mais diversos tipos de centros urbanos, pudessem ser estudados com maior clareza, encontrando assim soluções para problemas antigos. O processo de evolução nas cidades inteligentes trouxe para vários locais uma grande e verdadeira revolução tecnológica.

Na área de pesquisa, as cidades inteligentes não são uma temática recente de estudo. Há diversos registros antigos sobre projetos desenvolvidos com a mesma tônica deste trabalho. Todavia, era necessário o avanço das tecnologias da comunicação e informação (TICs). Essas, por sua vez, passaram por um desenvolvimento, que propiciou ao campo de pesquisa e projetos uma grande quantidade de interessados em desenvolver pesquisas e produtos voltados para cidades inteligentes (KAMIENSKI et al., 2016).

A Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT) também evoluiu consideravelmente nos últimos anos. O seu conceito reflete um paradigma computacional e da comunicação que conecta objetos da vida cotidiana à internet. Esse realiza o transporte de dados para interpretação e utilização por meios computacionais. A conectividade ainda permite que os mais diversos sistemas possam obter dados do mundo físico, servindo como insumo para análises e estudos (GOMEZ et al., 2019).

Um dos conceitos que mais se beneficiaram da Internet das Coisas foram os ambientes inteligentes. A *IoT* é vista como um dos grandes facilitadores tecnológicos e possibilita o desenvolvimento de residências inteligentes incorporadas às soluções inteligentes para a área da saúde, cidades inteligentes, fábricas inteligentes, entre outros (GOMEZ et

al., 2019).

O paradigma de Internet das Coisas permitiu que dados de ambientes, em que diferentes atores do cotidiano dos centros urbanos se inserem, fossem capturados e servissem como insumo para a tomada de decisão e gestão do meio físico. Sem embargo, esses dados que refletem informação dos contextos, nem sempre são fáceis de serem obtidos, gerados, estudados e interpretados. Isso se refere ao fato de que um ambiente inteligente ainda é caro. A sincronização entre diferentes tecnologias é uma tarefa árdua, agravada pelo fato de que muitas cidades ainda não possuem estrutura física e o parque tecnológico adequado para estruturas inteligentes (ZANELLA et al., 2014).

1.1 Desafio de pesquisa

As cidades inteligentes têm como característica a geração de dados e a conexão entre os mais diferentes elementos de uma sociedade, tais como: pessoas, sensores, construções, órgãos públicos, dispositivos móveis, entre outros. Esta relação possibilita a criação de uma rede interconectada, que também permite a disponibilização de dados para sistemas e, de alguma forma, informações para a sociedade civil por meio de aplicações computacionais.

Um grande número de pessoas conectadas formam multidões, que são partes essenciais das cidades inteligentes, pois estão nos mais diversos locais e se conectam às cidades de alguma forma. Além de gerarem dados, os grandes aglomerados também consomem informações a todo momento, quando disponíveis. Nas multidões, muitos padrões e estudos podem ser realizados com o objetivo de apoiar as soluções para as cidades (ASIMAKOPOULOU; BESSIS, 2011).

O grande número de dispositivos móveis conectados às redes de tecnologia e informação possibilitou a coleta e utilização de dados em tempo real. *Smartphones* e *wearables* são exemplos de dispositivos que permitem o envio e a formação de inúmeros dados que podem ser transformados em informações.

Os dados gerados das mais diversas formas, pelos dispositivos móveis e *wearables*, são enviados, por meio de protocolos de rede utilizados por sensores, para servidores de persistência. Esses dispositivos estão presentes nas cidades inteligentes. A exemplo, é

possível identificar tais evidências em: pluviômetros que identificam volume de chuvas, câmeras que observam as ruas, semáforos inteligentes que detectam a presença de carros e pessoas, termômetros, entre inúmeros outros dispositivos.

Ainda assim, é um grande desafio desenvolver, testar e validar dados recebidos em tempo real de sensores e de aplicações integradas às cidades inteligentes. O déficit de ambientes urbanos estruturados tecnologicamente e que possuem a utilização de Internet das Coisas para o transporte de dados, também são agravantes do problema exposto.

Além dos desafios supracitados, outros fatores podem ser mencionados, tais como o acesso a sensores, a dados gerados pelas ações das pessoas, a dinâmica, a fluidez dos objetos presentes nos centros urbanos e a dicotomia entre cenários cotidianos. Em diversos casos, para que seja possível validar, testar ou desenvolver uma aplicação, os dados utilizados são estáticos, consolidados e não oferecem dinamicidade, pois foram gerados por um contexto pertencente a um cenário pretérito.

Dessa forma, por meio do problema evidenciado, o desafio de pesquisa trata do suporte, por meio de uma arquitetura que utiliza simulações, ao desenvolvimento de aplicações em diferentes contextos de cidades inteligentes, utilizando-se o paradigma de Internet das Coisas.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma arquitetura baseada em simulações que ofereça qualidade e possibilite, de forma autêntica, a reprodução de cenários reais, auxiliando e apoiando o desenvolvimento, o teste e a validação de diferentes aplicações.

Para que seja alcançado o objetivo principal, o enfoque da solução proposta aborda o âmbito das cidades inteligentes e o paradigma de Internet das Coisas. Este trabalho busca apoiar a área de engenharia de *software*, oferecendo uma arquitetura de geração e consumo de dados em tempo real, principalmente ao utilizar simulações. Possibilitando assim o desenvolvimento de aplicações em diferentes contextos e cenários urbanos.

1.3 Organização do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos, expostos da seguinte forma:

- O capítulo um introduz o tema, apresenta o desafio de pesquisa e os objetivos do trabalho.
- O capítulo dois realiza a fundamentação teórica, descrevendo os conceitos de cidades inteligentes, Internet das Coisas e trabalhos relacionados.
- O capítulo três apresenta a proposta de solução detalhadamente para o desafio de pesquisa apresentado. Nele, padrões de qualidade são estabelecidos e a arquitetura é descrita.
- O capítulo quatro apresenta a simulação de um ambiente urbano na arquitetura proposta, os seus resultados e a sua adequação ao trabalho.
- O capítulo cinco apresenta as considerações finais, a conclusão do trabalho e possíveis trabalhos futuros.

2 Fundamentação teórica

Este capítulo tem como objetivo elucidar conceitos essenciais sobre cidades inteligentes e Internet das Coisas, bem como trabalhos relacionados.

2.1 Cidades inteligentes

Nos últimos anos do século XX, a urbanização, fenômeno de expansão das cidades por meio da sua população e território, se acentuou. As tecnologias da informação e comunicação emergiram com novas possibilidades de aplicações em diversos ambientes, principalmente nos grandes centros urbanos. Desse modo, novas perspectivas de discussões para as cidades ao redor do mundo surgiram e passaram a ser analisadas (COCCHIA, 2014).

Por meio da evolução e expansão das cidades, devido ao fenômeno da urbanização, novas políticas para sustentabilidade dos centros urbanos passaram a ser estudadas. Para atender às novas necessidades emergentes à época, em Amsterdã, na Holanda, no ano de 1994, é denominada a primeira cidade digital (*digital city*) e suas diretrizes são estabelecidas (COCCHIA, 2014). Segundo Couclelis (2004), “a cidade digital é uma representação ou reprodução abrangente, baseada na web, de vários aspectos ou funções de uma cidade real em busca de inovação, atendendo órgãos públicos, entidades privadas e cidadãos”.

A revisão sistemática conduzida por Cocchia (2014) estabelece que a iniciativa da cidade digital tinha como objetivo atender demandas, ambientais ou sociais e, após a assinatura das grandes potências mundiais em 1997 do Protocolo de Quioto¹, buscasse também atender as metas estabelecidas no encontro. A finalidade do que fora assinado era limitar a emissão de CO₂ e garantir a qualidade de vida dos ambientes urbanos e interioranos.

O trabalho de Velásquez et al. (2018), citando Bakıcı, Almirall e Wareham (2013), afirma que em 2004, na Espanha, por meio do trabalho conduzido pelo governo local, o primeiro projeto de desenvolvimento de cidades digitais era lançado no mundo. Este foi o

¹<https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>

responsável por popularizar as cidades digitais e, o seu processo de desenvolvimento, foi encarregado de culminar em cidades inteligentes. Em Bakıcı, Almirall e Wareham (2013) é defendido que, até este momento na história, as cidades digitais não eram tratadas como foram a partir desta data.

Ainda segundo Bakıcı, Almirall e Wareham (2013), as cidades ditas como inteligentes começaram a ser tratadas como evoluções, iniciativas que colocam em prática e absorvem os conceitos das cidades digitais. Em Cocchia (2014) é apresentado como o número de ensaios relacionados a cidades inteligentes começaram a aumentar, absorvendo o conceito de cidades digitais. A Figura 2.1 enfatiza o avanço no número de trabalhos onde o termo cidade inteligente (*smart*) é citado.

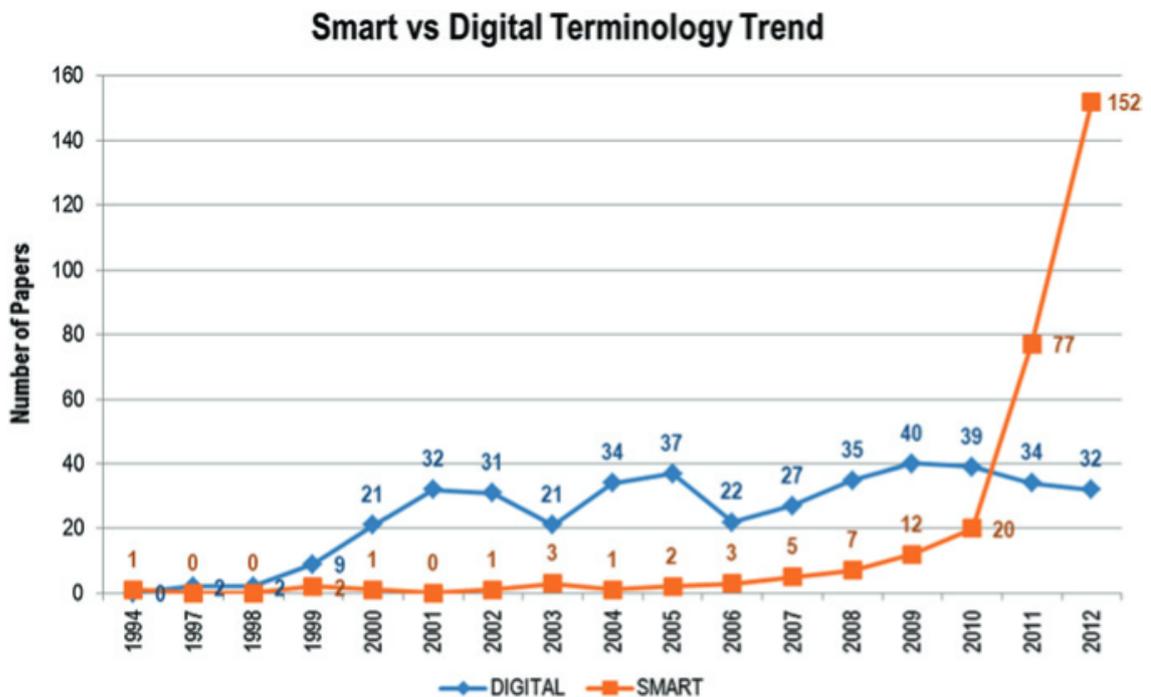


Figura 2.1: Utilização de *digital* e *smart* durante os anos (COCCHIA, 2014).

Segundo o estudo de Cocchia (2014), a definição de cidades inteligentes mais utilizada e aceita na literatura é a estabelecida por Giffinger e Gudrun (2010) em seu trabalho, “A cidade inteligente é uma cidade com bom desempenho baseada na inteligência das tecnologias, combinando alocação de atividades de cidadãos, independentes e conscientes”. Asimakopoulou e Bessis (2011) acrescentam ainda que uma cidade pode ser chamada de inteligente quando proporciona para a sua comunidade aplicações e serviços

que possam melhorar a vida das pessoas, possibilitando acesso aos mesmos, independente de localização e tempo.

Devido a sua origem nas cidades digitais, as cidades inteligentes são fortemente baseadas em tecnologias da informação e comunicação (COCCHIA, 2014). Dragoicea, Patrascu e Serea (2014) afirmam que para o perfeito funcionamento dessas cidades deve haver uma coordenação entre as tecnologias em diferentes graus de organização, onde se destaca a infraestrutura das cidades, as operações e as pessoas. É possível observar nesses ambientes diferentes atores como organizações, comunidades, entidades não governamentais e as mais diferentes autoridades.

De acordo com Neirotti et al. (2014), os atores públicos como os órgãos governamentais, exercem papéis cruciais no funcionamento das cidades inteligentes, pois são responsáveis por garantir a efetividade e sustentabilidade. Entidades privadas e cidadãos também possuem suas tarefas e afazeres. Neste âmbito, as tecnologias da informação e comunicação apoiando as cidades inteligentes, possuem domínio e subdomínios de aplicação, como pode ser visto na Figura 2.2, mas não se limitam somente aos ilustrados.



Figura 2.2: Domínios e sub-domínios das cidades inteligentes (NEIROTTI et al., 2014).

A divisão em domínios e subdomínios permite enxergar as cidades inteligentes como um grande organismo, tal como a definição proposta por Giffinger e Gudrun (2010), a qual é respaldada em uma complexa estrutura de rede. Por meio da divisão proposta, repartindo sistemas e a infraestrutura de elementos tecnológicos em domínios e subdomínios, permite-se que os estudos sejam voltados a áreas específicas e conduzam-se em um determinado contexto pré-estabelecido (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2013). Quando divididos especificamente em áreas de conhecimento, permite que estudos possam ser direcionados e realizados de forma adequada, diminuindo o escopo e tratando questões específicas em um nicho de informações correta (KANTER; LITOW, 2009).

Todo o esforço das cidades inteligentes é voltado em transformar a vida das pessoas e o trabalho a modo de possibilitar uma maior facilidade em lidar com o cotidiano ou permitir novas formas de relacionamentos que sejam interessantes para a população. As cidades inteligentes buscam apoiar processos de aprendizagem, desenvolvimento tecnológico e inovação nos ambientes urbanos (KOMNINOS, 2015). Integram tecnologias, sistemas e serviços de infraestruturas em uma grande e complexa estrutura de rede. As propriedades dessa rede são emergentes e estão evoluindo nos últimos anos. A integração de serviços nas cidades inteligentes possui muitos desafios e oportunidades. As inovações tecnológicas realizam papel fundamental nessa área, permitindo que novas habilidades, serviços e espaços colaborativos surjam (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2013).

2.2 Internet das Coisas

As cidades inteligentes funcionam como um grande organismo, onde diversos dispositivos se conectam por meio de uma grande rede (GIFFINGER; GUDRUN, 2010). Para que aconteça a integração das diversas tecnologias, sistemas e serviços de infraestruturas que compõem as cidades inteligentes é necessário que seja utilizado o paradigma de Internet das Coisas. O conceito que ganhou força nos últimos anos aborda a presença de diversos itens do cotidiano que se comunicam e interagem com outros objetos por meio de endereçamentos exclusivos de internet. O maior impacto do avanço desse modelo de comunicação está presente no comportamento das pessoas e sobre vários aspectos do cotidiano (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). A Figura 2.3 exemplifica os objetos

potencializados por essa tecnologia. A exemplo é possível identificar câmeras, sensores, semáforos inteligentes, e a sua comunicação possibilitada pela Internet das Coisas em uma cidade inteligente.



Figura 2.3: Ecossistema de uma cidade inteligente que utiliza IoT (GRIZHNEVICH, 2018).

Zanella et al. (2014) afirmam que o conceito mencionado anteriormente, permitiu que a internet fosse cada vez mais imersiva e pervasiva, possibilitando a interação das pessoas, sensores e veículos com o ambiente. Como resultado, é possível gerar um grande conjunto de dados que pode ser observado no dia a dia, entendendo melhor a dinâmica dos ambientes, e provendo novas soluções para a melhoria da qualidade de vida da população.

As tecnologias de Internet das Coisas utilizada nas cidades inteligentes, segundo o trabalho de Arasteh et al. (2016), são identificadores de rádio frequência (RFID), redes de sensores sem fio, endereçamentos de comunicação entre diferentes objetos e *softwares* de *middleware*. Todas essas tecnologias visam, mas não são limitadas, a utilização de protocolos de rede, como forma de prover comunicação com computadores que tratam de armazenar os dados.

Ambientes inteligentes também se beneficiam de objetos com recursos de comunicação potencializados pelo paradigma exposto. Atzori, Iera e Morabito (2010) defendem

que “um ambiente inteligente é aquele que faz o seu emprego fácil e confortável graças à inteligência dos objetos contidos, seja um escritório, uma casa, uma planta industrial, ou um ambiente de lazer”.

Existem muitas interseções entre as cidades inteligentes e o paradigma de Internet das Coisas. A IoT permite interconectar qualquer coisa, desde objetos da vida cotidiana a dispositivos de redes mais sofisticados. Esses dispositivos que utilizam esse modelo de comunicação, podem capturar informações do contexto das cidades inteligentes, como a temperatura, a qualidade do ar, a presença e o movimento. As informações do contexto são úteis, pois permitem que o cotidiano das pessoas, que se envolvem com o ambiente urbano, possa ser conhecido e melhores políticas possam ser desenvolvidas (TEI; GÜRGEN, 2014). Por exemplo, com o auxílio dos dados de contexto, e por meio da análise do tráfego de carros e pessoas de uma cidade, órgãos públicos podem pensar em políticas de mobilidade urbana.

Entretanto, empregar a Internet das Coisas nas cidades inteligentes não é uma tarefa fácil. Zanella et al. (2014) demonstram que utilizar e aplicar esse novo paradigma em ambientes inteligentes é uma tarefa árdua e que requer muitos estudos. A heterogeneidade de cada uma das aplicações, os objetos presentes, todos os cenários e os diferentes domínios que são utilizados, fazem com que exista inúmeros desafios, inclusive o de possibilitar a comunicação entre diferentes atores dos ambientes inteligentes.

Patel e Cassou (2015) apontam que a criação de aplicativos em larga escala nesse ambiente é dificultado pela natureza distribuída e também pela dinâmica das entidades envolvidas. Os autores citam como exemplos: sensores, dispositivos de atuação que coletam dados do ambiente, pessoas e os recursos computacionais que recebem e utilizam esses dados gerados.

Devido a heterogeneidade de cada objeto que gera dados e os protocolos de rede, que apoiam a comunicação através de diferentes padrões, a complexidade para testar e viabilizar novas aplicações desenvolvidas é aumentada. Além disso, viabilizar dados dos ambientes em que os objetos estão inseridos, para que diferentes aplicações propostas direcionadas aos ambientes inteligentes possam ser testadas e validadas, é uma tarefa complexa principalmente devido à diversidade de sensores e à necessidade de sincronização

da sua comunicação (ZANELLA et al., 2014).

Mukhopadhyay e Suryadevara (2014) descrevem algumas dificuldades para os ambientes inteligentes que, em conjunto, formam as cidades inteligentes. Um desafio citado pelo autor é o desenvolvimento de sistema de sensoriamento inteligente por meio de sensores e dados de contexto, que sejam de baixo custo. O autor cita também o tempo de vida dos sensores como um problema, relatando sobre defeitos que impedem a sua utilização por grandes períodos de tempo.

Pellicer et al. (2013) relatam que muitas cidades ainda encontram dificuldades em se tornarem inteligentes e outras não conseguiram se transformar totalmente neste novo ambiente. Os autores demonstram as dificuldades dos atores em empregarem as novas tecnologias, os custos atrelados a essas mudanças, necessários para realizarem modernizações.

No estudo realizado por Gomez et al. (2019) são apontadas as diferenças e as especificidades de cada ambiente inteligente como atenuantes da dificuldade exposta anteriormente. Os autores revelam que alguns espaços urbanos possuem maiores aparatos tecnológicos, alguns utilizam inovações e que ainda existe uma evolução de cada espaço respeitando as suas especificidades. Gomez et al. (2019) ainda defendem que “todos os ambientes inteligentes coletam, processam e agem com base em informações, diferentes ambientes inteligentes específicos o fazem em diferentes escalas”.

2.3 Trabalhos Relacionados

Esta seção objetiva apresentar três trabalhos relacionados a cidades inteligentes, Internet das Coisas e como arquiteturas de *software* estão sendo empregadas para o desenvolvimento de aplicações nesse contexto.

A pesquisa de Silva et al. (2013) apresenta um estudo sobre a conceituação de cidades inteligentes e das arquiteturas de *softwares* presentes na literatura. Inicialmente, o trabalho busca conceituar, de acordo com o estado da arte, o que são as cidades inteligentes, as suas necessidades e as dificuldades de implantação das tecnologias nas cidades modernas. O trabalho prossegue apresentando uma evolução histórica de diferentes projetos de *softwares* desenvolvidos em domínios de cidades inteligentes. O estudo ainda

realiza análises dos projetos arquiteturais dos sistemas, das dificuldades em realizar o desenvolvimento das aplicações, analisando principalmente os requisitos de cada projeto e como foram desenvolvidas as arquiteturas.

Com base na análise das diferentes arquiteturas, Silva et al. (2013) explicam que não há um consenso sobre quais requisitos uma arquitetura deve atender para ser eficaz. Com base na explicação, os autores apresentam uma série de requisitos importantes que devem estar presentes em todas as arquiteturas, que são: interoperabilidade, sustentabilidade, monitoramento em tempo real, histórico de dados, mobilidade, disponibilidade, privacidade, sensoriamento e processamento distribuídos, composição dos serviços, gestão urbana integrada, aspectos sociais e flexibilidade/extensibilidade.

Entretanto, a sua própria pesquisa não apresenta ou propõe uma arquitetura global e replicável para diferentes projetos. Os autores definem apenas requisitos de qualidade básicos pelas quais todas devem prezar e buscar entregar. A não apresentação de uma arquitetura reprodutível, além dos atributos de qualidade, não gera embasamento para que futuros *s* possam ser desenvolvidos.

Santana et al. (2018) apresentam um estudo sobre plataformas de *softwares* para cidades inteligentes. Os autores propõem conceitos, definem requisitos, explicitam desafios de uma arquitetura de referência unificada para o desenvolvimento, testam e validam *softwares* para a área. A pesquisa conduzida tem como objetivo responder a seguinte questão: quais características as plataformas de *software* fornecem para permitir a construção de aplicativos escaláveis integrados às cidades inteligentes?

Para que fosse possível responder a questão levantada, os autores explicam, durante o seu trabalho, que 23 plataformas de *software* foram investigadas. Inicialmente, o trabalho realiza uma conceituação das tecnologias mais comuns empregadas em plataformas para cidades inteligentes. Nesse contexto, os autores percebem que a Internet das Coisas é uma das quatro grandes tecnologias implementadas nas cidades inteligentes. As outras tecnologias citadas pelos autores são *big data*, *cloud computing* e sistemas físicos cibernéticos. Os autores ainda relatam que chegaram a todas essas tecnologias tentando responder a seguinte pergunta: quais são as tecnologias capacitadoras usadas nas plataformas de *software* de ponta para cidades inteligentes?

Uma outra pergunta é realizada para refletir sobre quais requisitos uma plataforma de *software* para cidades inteligentes deve atender. Com a finalidade de encontrar uma resposta, os autores realizaram pesquisas na literatura. Para isso, baseados nas tecnologias citadas anteriormente, eles fazem análises de vários *softwares* já existentes e realizam a categorização dos mesmos por áreas tecnológicas.

Segundo Santana et al. (2018), as arquiteturas e os *softwares* desenvolvidos que utilizam o paradigma de Internet das Coisas nas cidades inteligentes fazem uso conjuntamente com *cloud computing* e/ou *big data*. A pesquisa realizada aponta também que os domínios mais presentes nessa abordagem são: sensoriamento das cidades, controle de tráfego, gestão das cidades, cuidados da saúde, segurança pública, gestão energética e gerenciamento de resíduos descartados.

Após a caracterização das tecnologias utilizadas, os requisitos funcionais que estão presentes em diversos trabalhos estudados são agrupados por (SANTANA et al., 2018). O primeiro trata da gestão de dados e processamento de dados ao qual inclui coleta, armazenamento, análise e visualização. Juntamente com o requisito anterior, a gestão de dados vindo de diferentes redes precisam acontecer. Ainda na parte de dados, essas aplicações necessitam permitir que os seus dados estejam disponíveis para o acesso de outras.

Em seguida, a parte gerencial dos *softwares* é definida. Uma plataforma de execução dos aplicativos é necessária, assim como um gerenciador de serviços oferecidos pelos sistemas. Por fim, modelos de cidades inteligentes precisam ser definidos para que as aplicações sejam testadas e validadas.

Santana et al. (2018) apontam que *softwares* desenvolvidos para as cidades inteligentes precisam lidar com alguns requisitos não funcionais, os quais tratam de atributos de qualidade. Esses podem ser definidos em interoperabilidade, escalabilidade, segurança, privacidade, consciência de contexto, adaptabilidade, extensibilidade e configurabilidade. Os autores defendem que tais requisitos, não funcionais, vão de encontro aos funcionais e se complementam, garantindo que um *software* possa ter seu perfeito funcionamento.

A pesquisa realizada por Santana et al. (2018) objetiva ainda oferecer uma arquitetura multinível de referência para o desenvolvimento de aplicativos para as cidades

inteligentes. A sua camada mais baixa trata da nuvem e da comunicação por meio das redes ao qual identifica todos os objetos conectados. Logo acima, o nível que habilita a comunicação de todos os objetos é proposto. As redes sociais também fornecem dados nesse ponto. Quando os objetos utilizados para a geração de dados são os das cidades, a Internet das Coisas é utilizada e o módulo de gerenciamento de *big data* está presente.

O objetivo é que todos os dados gerados possam ser trabalhados, estudados e consolidados. Diferentes técnicas computacionais podem ser empregadas em cima desse conjunto de dados, para que somente os relevantes sejam mantidos. A última camada trata das aplicações que podem utilizar tudo o que está persistido na camada abaixo, transformando os dados em informações para os atores que estão presentes nas cidades inteligentes.

Mesmo sendo um trabalho extremamente completo, e que demonstre as dificuldades em se realizar testes e validações para aplicações para cidades inteligentes, os autores não propõem uma solução para o mesmo. Santana et al. (2018) argumentam que soluções de baixo custo precisam ser encontradas, e que é necessário o desenvolvimento de outras para a área de forma que o lançamento de *softwares* possa ser apoiado.

O trabalho de Wenge et al. (2014) propõe uma arquitetura para cidades inteligentes a partir do ponto de vista do processamento de dados existente. Em um primeiro momento, os autores explicam a evolução das cidades inteligentes ao redor do mundo, apontando para a urbanização como um dos efeitos que mais aumentaram a necessidade de tais ambientes. Todavia, as cidades inteligentes não possuem um conceito ou modelo de desenvolvimento bem definido, o que acaba acarretando, de acordo com os autores, dificuldades para que uma arquitetura seja proposta.

Para que fosse possível a proposta de arquitetura, os autores realizaram uma pesquisa sobre as diferentes tecnologias implantadas em cidades inteligentes e apresentaram os desafios que elas impõem a um projeto arquitetural. Em seguida, os autores evidenciam um estudo sobre o que existe na literatura sobre arquiteturas e explicam como são utilizadas.

Dessa forma, Wenge et al. (2014) propõem uma arquitetura que possa lidar com o avanço das tecnologias da informação que rapidamente se desenvolvem e são essenciais

para enfrentar os desafios sociais, políticos e ambientais que os ambientes urbanos enfrentam. Para isso, os autores defendem que somente uma arquitetura vista a partir de uma perspectiva de dados seria o ideal.

A estrutura proposta é baseada em uma hierarquia que, possui como base, a aquisição de dados. Os autores defendem que adquirir dados do ambiente é um dos grandes desafios existentes, devido ao fato de que existem diversos sensores que os produzem em larga escala, citando a Internet das Coisas como um potencializador para que os dados sejam adquiridos.

A próxima camada da hierarquia é a de transmissão de dados, a qual utiliza as tecnologias de rede para possibilitar o transporte dos dados. Em sequência, os dados adquiridos e transmitidos são armazenados e trabalhados para que não existam inconsistências. A quarta camada tem como objetivo dar suporte a aplicações que são utilizadas por usuários finais. Esta ainda é a responsável por acessar os dados e transportá-los a quem os solicitou, estruturando-os para as aplicações. As duas últimas partes da arquitetura, serviços de domínio e aplicações inteligentes orientadas a eventos, possibilitam que os usuários visualizem as informações geradas pela arquitetura, apoiando os atores das cidades inteligentes.

Para que essa arquitetura proposta obtenha sucesso, Wenge et al. (2014) afirmam que algumas características devem ser garantidas pelos órgãos que administram as cidades inteligentes. Esses devem garantir que seja possível administrar, possibilitar segurança dos dados gerados e definir padrões em diferentes níveis. Sejam eles de aplicações, segurança ou tecnologias. Entretanto, mesmo com a proposta acima, os autores não definiram requisitos de qualidade para a arquitetura, justificando que cada cidade inteligente possui suas próprias complexidades. O trabalho propõe lidar com as diferentes tecnologias e com a grande geração de dados. Contudo a ausência dos requisitos de qualidade faz com que não haja parâmetros para que a arquitetura possa ser reutilizável e comparada. Ademais, os autores também não exemplificam como obter dados para que aplicações possam ser desenvolvidas, apoiadas ou validadas.

Acerca da utilização de simulações para retratar ambientes inteligentes, o trabalho de Umilio et al. (2018) propõe a construção de um ambiente domiciliar assistido. O

objetivo do seu trabalho aborda uma estrutura computacional baseada no paradigma de segurança orientada a contexto.

Dessa maneira, Umilio et al. (2018) expõem os problemas existentes no que se refere a privacidade e segurança de dados existentes em ambientes domiciliares assistidos. Tais locais são considerados inteligentes, pois entre as diversas tecnologias presentes estão os sensores, *smartphones* e *wearables*. Além disso, também precisam ser gerenciados e fornecem dados do contexto em que estão inseridos.

Para simular o ambiente necessário, os autores constroem um simulação de uma casa inteligente, onde atores realizam as suas atividades e geram dados acerca das suas ações e da sua localização. Por meio desses dados, um sistema de preservação dos atores, segurança para dados e acesso somente de interessados é criado e validado por meio da simulação.

Apesar do desenvolvimento do software proposto por (UMILIO et al., 2018), o mesmo não expõe a arquitetura que foi utilizada para o desenvolvimento do mesmo. O trabalho não determina também como as simulações podem ser utilizadas em outros ambientes inteligentes. Ademais, mesmo que definidos atributos de segurança, o objetivo do seu trabalho não trata de estabelecer todos os atributos de qualidade necessários para apoiar o desenvolvimento de softwares.

3 Proposta de solução

Por meio de uma análise da fundamentação teórica, dos trabalhos relacionados e da pesquisa bibliográfica realizada, se torna possível observar a dificuldade em dar suporte ao desenvolvimento de aplicações utilizando o paradigma de Internet das Coisas em cidades inteligentes. Devido principalmente à ausência de arquiteturas de *softwares* baseadas em simulações que estão disponíveis, são reaproveitáveis e adaptáveis a diferentes contextos. Visando apoiar o desenvolvimento, teste e validação de aplicações, uma solução é proposta neste capítulo.

Deste modo, a abordagem proposta é de uma arquitetura na qual a simulação possa ser responsável por retratar os mais diferentes contextos, os diversos domínios das cidades inteligentes e, a partir de então, gerar dados para validar novas aplicações a serem desenvolvidas. O objetivo da arquitetura proposta é permitir que os mais diversos trabalhos da área de cidades inteligentes e do paradigma de Internet das Coisas possam validar suas hipóteses, testando suas aplicações computacionais de forma mais assertiva e rápida, sem a dependência de um ambiente de teste caro e que possui uma natureza rapidamente mutável.

Acrescentando-se a proposta realizada acima, é importante observar que as cidades inteligentes possuem suas próprias arquiteturas e as aplicações devem se adaptar para que possam ser inseridas dentro do contexto. Portanto, a arquitetura proposta neste trabalho precisa ser adaptável a diferentes cidades inteligentes já existentes ao redor do mundo.

3.1 Atributos de qualidade

Os atributos de qualidade, ou requisitos não funcionais, estão diretamente relacionados à forma como um *software* será desenvolvido e seus requisitos são pensados. Entretanto, a qualidade não diz respeito, ou se limita, somente ao projeto de um *software*. Ela trata também de aspectos ligados a interação, disponibilidade, funcionamento e, principalmente,

como um usuário final pode se beneficiar do que está sendo oferecido pelo produto. Dessa maneira, uma arquitetura de *software* sempre deverá prover e buscar qualidade. A Figura 3.1 oferece um panorama de quais são os atributos de qualidade necessários e que são buscados na arquitetura proposta.

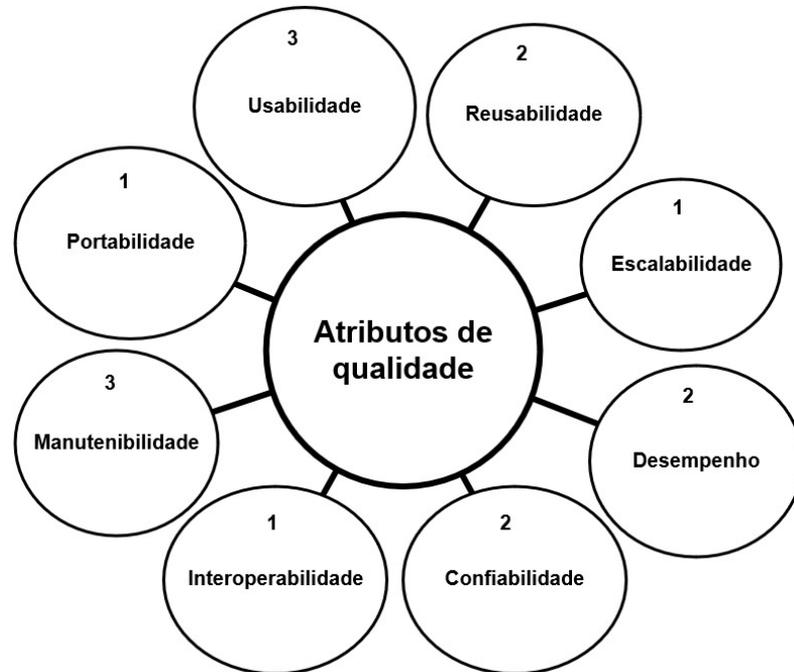


Figura 3.1: Atributos de qualidade para a arquitetura proposta.

Cada aplicação desenvolvida para um ambiente inteligente necessita de priorização acerca de seus atributos de qualidade. Por exemplo, uma aplicação que lida com gestão de espaços públicos e outra que lida com segurança pública necessitam de atributos de qualidade diferentes. A priorização se mostra importante devido ao fato de que ela visa apoiar o estabelecimento de como uma aplicação deve funcionar, ressaltando o que deve ser atendido. Dessa maneira, a figura 3.1 visa estabelecer quais são considerados os atributos mais importantes a serem pensados a nível deste trabalho. Todos os atributos expostos possuem sua necessidade de implantação, contudo, cabe a cada interessado implementá-lo à sua maneira.

Os atributos de portabilidade, escalabilidade e interoperabilidade são definidos como prioridade um. Esses dizem respeito ao crescimento de uma aplicação e como podem ser utilizados em diferentes ambientes. Para que uma aplicação possa escalar, esteja disponível para diferentes utilizações e se comunique com outras, esses são atributos

essenciais.

A prioridade dois trata dos atributos reusabilidade, desempenho e confiabilidade, os quais dizem respeito a como uma aplicação é executada no momento, como podem garantir a sua eficácia de utilização e seja reutilizável em caso de reconstruções. Por fim, a prioridade três possui os atributos usabilidade e manutenibilidade, os quais dizem respeito a como um usuário interage com uma aplicação e como ela pode receber manutenção.

A proposta de solução necessita ser viável, tanto para cidades inteligentes já consolidadas, quanto para as novas que irão surgir. No caso das existentes, seus padrões arquiteturais já são definidos e estabelecidos, tendo as aplicações apenas se adaptarem. As novas cidades inteligentes, ainda não possuem padrões rígidos ou bem definidos. Independentemente do estágio em que uma cidade esteja, uma arquitetura baseada em simulações deverá permitir que as aplicações possam ser desenvolvidas, testadas e validadas. A seguir, cada atributo de qualidade é explicado individualmente.

Um dos atributos de qualidade mais importantes é a **portabilidade**. O seu conceito define se um *software* pode ser executado em diferentes arquiteturas e diferentes especificações de hardware, mantendo as suas funcionalidades e os seus serviços ofertados. A mudança de ambientes computacionais não poderá afetar o seu desempenho, o que é essencial para o funcionamento da arquitetura.

A portabilidade é um dos requisitos para que seja possível a reutilização da arquitetura em diversos contextos de cidades inteligentes. Os ambientes inteligentes são os mais diversos possíveis, como por exemplo, escolas, hospitais, escritórios, casas. Todos esses ambientes juntos formam as cidades inteligentes, permitindo que haja uma grande união das informações geradas e consumidas.

A portabilidade deverá permitir que a arquitetura possa ser utilizada em todos os ambientes inteligentes citados e que também garanta que, quando integrados, não exista problema com o funcionamento previsto, facilitando as adaptações necessárias e garantindo que haja sempre qualidade. A portabilidade pode ser vista de outra maneira, permitindo que contextos possam ser replicados, potencializando os testes e o desenvolvimento de aplicações que necessitem dados gerados. A arquitetura deverá ser portátil favorecendo a sua reusabilidade.

A **usabilidade** é importante para que exista facilidade de uso da arquitetura e também para que os *softwares* implementados não tenham problemas de entendimento e execução. Uma arquitetura que possa ser facilmente implementada, e que permita o desenvolvimento de *softwares*, possuindo baixa taxa de falhas e com um percentual pequeno de erros, garante qualidade e permite que a mesma seja reutilizável.

O conceito de **reusabilidade** é importante para que a arquitetura possa ser replicada em diferentes contextos e utilizada pelas mais diversas aplicações, por exemplo, as quais fornecem dados em tempo real dos ambientes ou realizam monitoramento de segurança. Caso modificações sejam necessárias no sistema para que ele seja aproveitável para outras cidades, as mesmas devem ser realizadas facilmente e com baixa complexidade. Arquiteturas baseadas em reusabilidade permitem que *softwares* sejam adaptáveis e escaláveis. O reuso ainda trata da forma pela qual uma arquitetura foi pensada junto a escalabilidade, desempenho, confiabilidade, interoperabilidade e manutenibilidade.

A **escalabilidade** é um conceito que revela o quanto uma estrutura pode crescer e continuar atendendo ao meio que a utiliza. Uma arquitetura que atende às cidades inteligentes deverá crescer de forma que mais sensores possam ser utilizados, mais dados possam ser recebidos e interpretados, continuando a oferecer respostas para quem a utiliza sem que haja perda de desempenho.

Mesmo com o crescimento de uma aplicação, a sua arquitetura deverá garantir que a aplicação não perca **sustentabilidade**, de forma que não exija mais recursos do meio ambiente e garanta eficácia tecnológica, por meio de gastos energéticos.

A introdução da escalabilidade apresenta outro conceito importante. O **desempenho** é uma métrica que impacta notoriamente na forma como as pessoas enviam, recebem e usufruem das informações. Independente de como o modelo é estruturado, os dados precisam estar disponíveis o mais rápido possível para que todos tenham acesso.

Aplicações para as cidades inteligentes lidam com grandes conjuntos de dados. As arquiteturas deverão prover locais de armazenamento e, independentemente do tamanho dos arquivos de dados, a aplicação deverá garantir métricas de desempenho adequadas ao meio em que está inserida.

Todavia, não basta garantir apenas o desempenho. É necessário que a arquitetura

forneça confiabilidade, sem que aconteça a perda de dados, coleta inoperante, solicitações de informações inacabadas, falhas na estrutura e não deixe com que algum serviço seja oferecido, o que impactaria diretamente no funcionamento da arquitetura.

A **confiabilidade** trata também de aspectos de segurança da informação e da privacidade do usuário. Por uma visão diferente da apresentada anteriormente, quando um sistema está sob ameaça, ele não deve informar dados que estão nele armazenados. Muitas cidades inteligentes possuem sistemas de monitoramento em tempo real, os quais geram histórico de dados, sendo esses sensíveis ao contexto. Uma arquitetura que ofereça confiabilidade deve garantir que mesmo em situações extremas, os dados que estão armazenados sejam mantidos em sigilo e preservados.

A discussão acerca dos dados coletados trata da **privacidade** das pessoas, estabelecimentos e órgãos que são os atores das cidades inteligentes. Todas as aplicações que foram desenvolvidas por meio da arquitetura devem garantir que os dados dos usuários sejam preservados. Uma arquitetura que seja reprodutível deve ter como foco a privacidade dos dados.

A **interoperabilidade** trata de como uma aplicação deverá conseguir se comunicar com outras aplicações. Uma arquitetura que faz uso de Internet das Coisas deverá permitir que uma aplicação se comunique com diferentes outras por meio do paradigma exposto. As cidades inteligentes são tratadas como um organismo onde diversos sistemas realizam o seu papel, muitas vezes, necessitando se comunicar com outras e coordenando o seu funcionamento.

Por fim, o último atributo necessário de qualidade para a arquitetura diz respeito a **manutenibilidade**, a qual estabelece que manutenções e melhorias devem ser fáceis de serem realizadas, possibilitando sempre a melhora da estrutura e garantindo que haja avanços toda vez que seja necessário, preservando a vida útil e a permanência do modelo.

3.2 A arquitetura

A proposta de solução e os conceitos de qualidade em conjunto devem permitir, primordialmente, o desenvolvimento de simulações em diferentes contextos das cidades inteligentes e permitir a geração de dados por meio do paradigma de Internet das Coisas. Os atributos

de qualidade propostos visam criar um ambiente onde as aplicações possam ser desenvolvidas de forma mais prática e rápida do que ter acesso a infraestrutura das cidades para testá-las, fornecendo assim suporte aos desenvolvedores de aplicações.

Muitos dos trabalhos realizados na área definem uma arquitetura para as cidades inteligentes e como as aplicações que estão neste meio devem funcionar, se adequando ao que já foi proposto como arquitetura. Contudo, muitas aplicações ao serem desenvolvidas não conseguem ter acesso a tal modelo, mas precisam ser validadas e testadas.

Essa arquitetura tem como objetivo se aproximar das arquiteturas de *software* já existentes nas cidades inteligentes e permitir o desenvolvimento de novos sistemas. A arquitetura proposta neste trabalho é composta por um modelo dividido em três grandes módulos, onde cada um deverá exercer um papel específico para que seja possível o seu desenvolvimento. Além disso, cada módulo interage com o outro por meio de uma *API*. Esta é caracterizada como um conjunto de métodos e rotinas que recebem ou disponibilizam dados para interessados, sejam eles outros sistemas ou servidores de banco de dados. A Figura 3.2 exemplifica a estrutura proposta. A arquitetura possui três módulos distintos, descritos nas subseções a seguir.

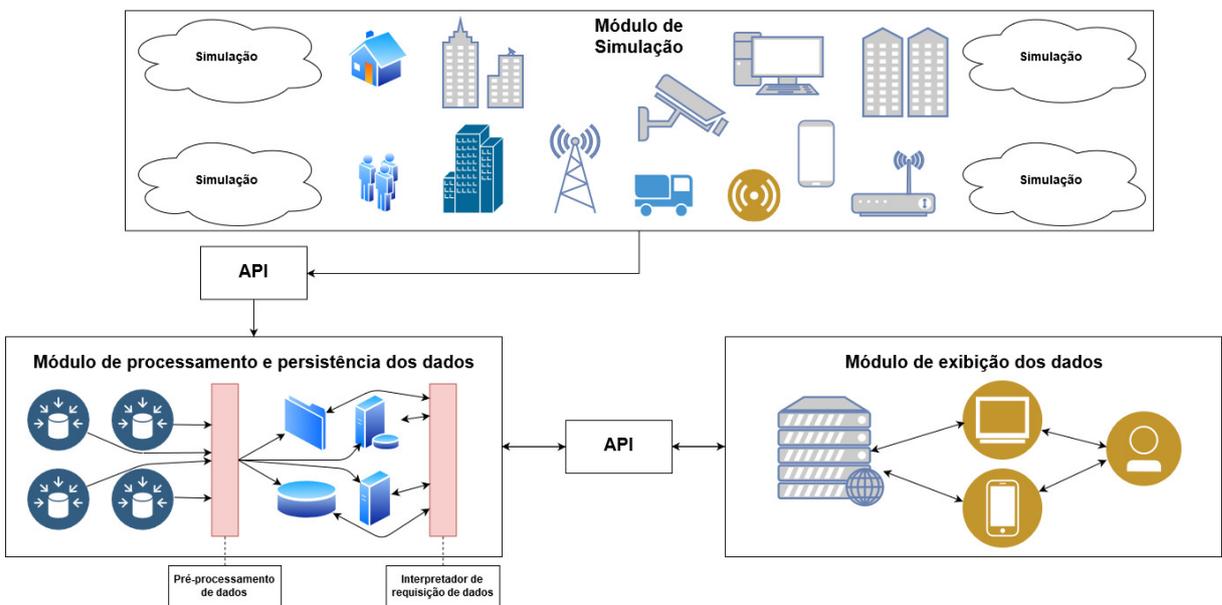


Figura 3.2: Arquitetura proposta baseada em simulações projetadas.

3.2.1 Módulo de simulação

Atualmente, a arquitetura aplicada no desenvolvimento das cidades inteligentes com o uso do paradigma de Internet das Coisas utiliza uma modelo semelhante à exposta acima. Contudo, no lugar do módulo de simulação, ambientes reais são os responsáveis por gerarem dados do contexto, sendo todo o resto mantido igual, conforme a Figura 3.3.

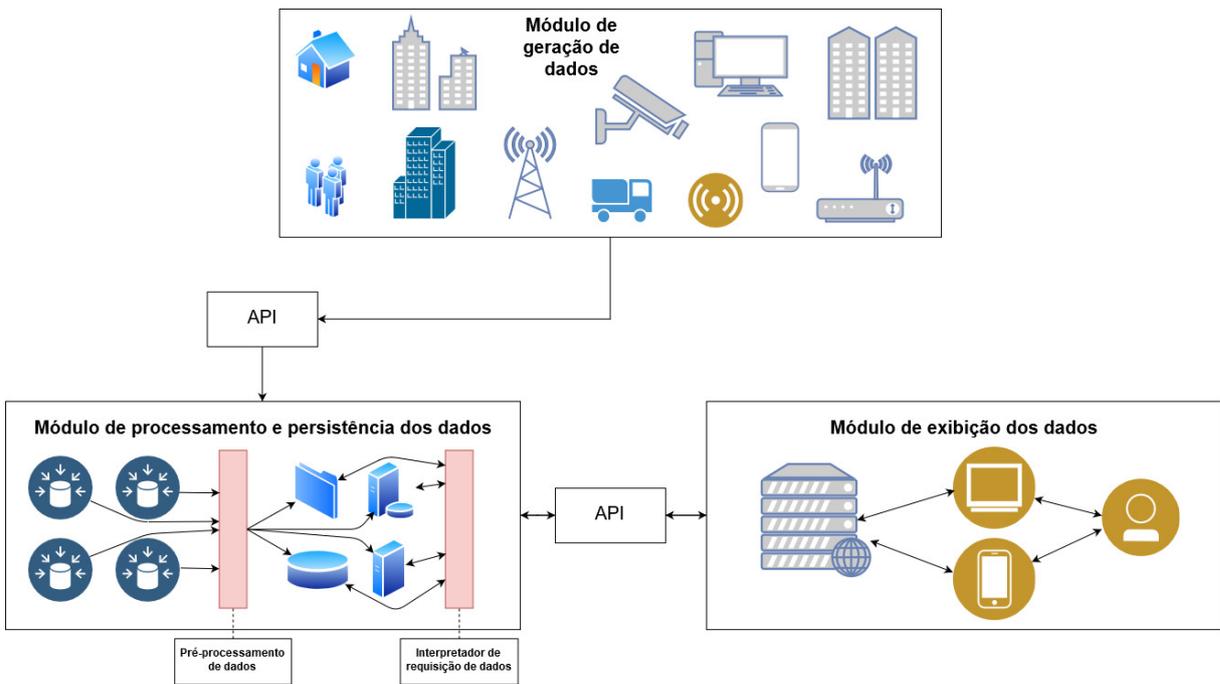


Figura 3.3: Arquiteturas que não utilizam simulação.

O módulo de geração de dados retrata a realidade das cidades inteligentes ao redor do mundo. Ele possui casas inteligentes, pessoas e seus dados compartilhados, construções inteligentes, radares, sensores, câmeras, carros, telefones e dispositivos de rede que geram e possibilitam, por meio da Internet das Coisas, a comunicação e geração de dados para o próximo módulo, o de processamento e persistência dos dados.

A substituição do módulo de geração de dados pelo módulo de simulação permite que os mais diversos contextos sejam construídos, fazendo que esses retratem a realidade de forma mais fiel possível. A complexidade de acesso aos sensores físicos, aos dados das pessoas presentes nas cidades e a centrais de monitoramento podem ser substituídos por simulações, diminuindo a dificuldade de validações e construções de aplicações.

Esse acesso aos diferentes objetos citados anteriormente, permitem observar a utilização do paradigma de Internet das Coisas, o qual possibilita que os dados sejam

transportados até o próximo módulo. Nesse contexto, todos os dados são aproveitados e as abstrações de diferentes protocolos são empregadas, de forma que todos os objetos realizem a comunicação de forma semelhante.

O módulo permite a coordenação de diferentes simulações ao mesmo tempo, sendo que o seu principal objetivo é gerar dados, que serão pré-processados e persistidos futuramente. Sensores podem ser colocados, pessoas podem ser monitoradas, ambientes observados e comportamentos estudados. Todos esses por meio de dados gerados.

A importância do módulo de simulação diz respeito ao fato de que ele pode simular a existência de ambientes que são dificilmente reproduzidos nas cidades reais. Outro fator de importância está no fato de que mesmo que esses ambientes já existam, nem sempre o acesso a eles é disponível. Tal fato dificulta o desenvolvimento, testes e validações de uma aplicação.

A construção de cidades simuladas permite abstrair complexidades existentes na vida real, além da exposta acima. Simulações buscam retratar de forma fiel o ambiente, mas possuem características de abstração e simplicidade. Por exemplo, a comunicação entre diferentes objetos é uma problemática existente nas cidades inteligentes, o uso de simulações permite que essa complexidade seja amenizada e a sincronização possa ser realizada entre esses objetos.

Outra dificuldade que um módulo de simulação permite combater é o da geração dos dados. Muitas vezes, os dados de sensores são necessários. Entretanto, a cidade não possui um sensor específico e não existem dados para que seja possível utilizá-lo. As simulações permitem que sensores sejam criados e essa problemática solucionada. Para a validação e o processo de testes de aplicações, o conjunto de dados é estático e gerado anteriormente. As simulações permitem a geração de dados para que tais aplicações possam fazer seus experimentos.

As simulações oferecem diversos benefícios. Realizar uma simulação possui baixo custo e a sua manutenção é fácil de ser realizada. Um mesmo projeto pode ser reutilizável em diversos ambientes e testes, além de permitir a interoperabilidade com outros sistemas. Aumentar uma simulação não é uma tarefa árdua.

Para que os dados gerados pela simulação cheguem até o módulo subsequente,

esses devem ser enviados para uma *API*. Cada sensor deverá gerar os dados e enviá-los com o seu formato, ela irá receber o conjunto gerado e irá distribuí-los para cada um dos interessados. A complexidade em lidar com os dados é abstraído pela *API*, onde diversas rotinas podem ser criadas para diferentes tipos de dados.

3.2.2 Módulo de processamento e persistência dos dados

Todos os dados gerados pela simulação precisam ser processados. Muitas vezes, dados que não possuem algum tipo de valor podem estar presentes e devem ser descartados. Outros, por sua vez, precisam ser armazenados de alguma maneira especial ou armazenados em conjunto para que tenham algum tipo de valor.

Inicialmente, a arquitetura prevê que todos os dados vindos das simulações serão processados. A entrada dos dados, que são gerados e armazenados em tempo real, está visível anteriormente ao pré-processamento de dados. A utilização de uma camada de pré-processamento de dados permite que somente dados importantes e que interessam as aplicações sejam armazenados. Neste ponto, *softwares* podem ser desenvolvidos para que a correta análise e armazenamento sejam feitos. Uma abordagem de *fog computing* e *edge computing* podem ser utilizadas neste momento.

Após o pré-processamento, esses dados podem ser gravados em forma de arquivos, em bancos de dados ou servidores de arquivos. Essa abordagem é realizada para garantir que a correta persistência seja realizada. Dados gerados nem sempre devem ser armazenados de forma tradicional em banco de dados relacionais. Aplicações recentes fazem cada vez mais uso de banco de dados não relacionais, como por exemplo ao armazenar as informações de localidade sobre devido acontecimento. Os bancos de dados espaciais se mostram uma boa solução, neste caso em que outros dados devem ser armazenados como arquivos. Logo, o pré-processamento deve saber lidar com essa questão e garantir o correto armazenamento dos mesmos.

Quando existe a necessidade de acesso aos dados que estão persistidos, a arquitetura proposta determina uma camada responsável por realizar a interpretação da requisição dos dados. A *API* faz as requisições de dados necessárias e essa camada visa garantir que os dados estejam sempre disponíveis e prontos para serem reutilizados em

diversas aplicações. A proposta não se limita somente a isso, o interpretador é o único que poderá realizar acesso aos dados, garantindo a privacidade dos mesmos.

O interpretador de requisição de dados deverá ser escalável e o seu desempenho deverá ser garantido. Muitas aplicações podem necessitar dos dados ali presentes. Em situações de estresse, o seu serviço deverá ser garantido. Os dados podem ser importantes para sistemas críticos, o que justifica essa abordagem. Além disso, a API deve ter os mesmos atributos do interpretador, a qual requisita e fornece dados para diferentes aplicações. O interpretador ainda deve operar com diferentes sistemas e ser reutilizável em diferentes contextos de obtenção dos dados persistidos.

O módulo de processamento e persistência dos dados é vital para o funcionamento da arquitetura. Caso não seja implementado com as características propostas, dados podem ser perdidos, não ser acessados ou alguma situação de perigo pode deixar de ser percebida. Esses são somente alguns exemplos da sua importância.

Dessa maneira, essa camada se faz necessária para atender a toda uma demanda de dados de forma rápida e coordenada, garantindo a qualidade dos dados entregues. Além de ser a responsável por pré-processar e estabelecer a sua utilidade para o contexto em que pode ser utilizado.

3.2.3 Módulo de exibição dos dados

O terceiro módulo é o responsável por garantir que os dados armazenados sejam interpretados e tenham algum significado para os atores das cidades inteligentes. Esses usuários podem ser órgãos públicos, empresas privadas ou pessoas que utilizam o aplicativo para ter o seu cotidiano ou algum domínio específico facilitado.

O módulo pode ser dividido em três camadas. A primeira é um servidor responsável por receber a solicitação das aplicações que estão sendo utilizadas. Esse servidor solicita os dados a *API* e ela vai até o interpretador de requisição dos dados do módulo anterior. A sua principal função é lidar com diversas requisições simultâneas das aplicações utilizadas por usuários finais e deve entregar os dados de forma correta.

Este servidor deve ser escalável, de forma que diversas aplicações possam utilizá-lo. Caso seja necessário, o mesmo deve ser portátil para outros ambientes ou até

mesmo replicado. Além desses requisitos, o mesmo deve tratar o desempenho, garantindo usabilidade e fácil manutenção.

As aplicações a serem desenvolvidas devem utilizar o servidor web que solicita e entrega os dados para serem transformados em informação. Essas aplicações são as já utilizadas nas cidades inteligentes ou as que estão em desenvolvimento. A arquitetura proposta tem como objetivo auxiliá-las, garantindo o acesso a dados que reproduzam fielmente a realidade. As aplicações presentes são as utilizadas por atores em celulares ou computadores, sendo que diferentes usuários podem utilizá-las simultaneamente.

Por fim, a última camada do módulo trata dos usuários finais. Os usuários finais, como dito anteriormente, são os atores das cidades inteligentes. Os mesmos não desejam saber como as aplicações foram feitas, mas desejam ter acesso a aplicações com boa usabilidade e com padrões de segurança e desempenho que atendam às suas necessidades.

As simulações, como forma de projetar o ambiente e os dados que são gerados por ele, fornecem os insumos necessários para que aplicações de exibição possam informar aos usuários finais o que desejam saber. Muitos centros urbanos não possuem a infraestrutura necessária para os testes de aplicações e muitos outros possuem acesso difícil aos dados que estão persistidos, não sendo abertos nem liberados, causando dificuldades para o desenvolvimento de novas soluções

Contudo, um dos grandes desafios da arquitetura proposta é garantir que o seu funcionamento seja perfeito, desde o fornecimento dos dados por meio da simulação até a visualização dos mesmos no último módulo. A sincronização e a consistência dos dados devem ser garantidas por padrões de qualidade.

A arquitetura proposta visa dar suporte ao desenvolvimento de aplicações para o ambiente de cidades inteligentes, permitindo que os dados gerados dos mais diferentes objetos das simulações possam ser utilizados. Tais objetos realizam a sua comunicação com o módulo de pré-processamento e persistência dos dados por meio da Internet das Coisas. O objetivo é que os atributos de qualidade sejam atendidos e que as simulações sejam o mais próximo possível da realidade das cidades. Dessa maneira, os problemas de desenvolvimento, testes e validações de aplicações poderão ter uma solução de baixo custo e que engloba diversos ambientes inteligentes.

4 Simulação

Para fins experimentais e para que fosse possível avaliar a geração de dados e a criação de diferentes contextos, uma simulação foi desenvolvida para um ambiente inteligente que utiliza sensores, e retrata o cotidiano de diferentes atores.

4.1 Comparação de simuladores

A simulação objetiva averiguar como os dados gerados podem retratar a realidade e ilustrar o módulo de simulações descrito anteriormente. Entretanto, para que fosse possível realizar a simulação realizou-se um estudo sobre diferentes simuladores de contexto encontrados na literatura. Os três simuladores estudados foram o Persim (HELAL et al., 2011), DiaSim (BRUNEAU; CONSEL, 2013) e o Siafu².

O Persim é um simulador que cria um espaço inteligente e faz a gestão desse cenário. Ele é um software 3D cujo foco é representar pequenos ambientes e as interações que nele ocorrem. Durante a simulação, o Persim gera um conjunto de dados que pode ser utilizado posteriormente. Entretanto, o Persim apresenta algumas barreiras na hora de serem registrados diferentes sensores em um ambiente, o que torna a experiência de configuração complicada. Para grandes ambientes, a configuração do simulador exige muitas configurações, o que gera complexidade.

O segundo simulador estudado foi o DiaSim, o qual possui seu foco em simulações que utilizam computação pervasiva. O desenvolvimento de diferentes contextos não é o foco do simulador. Esse possui como objetivo principal caracterizar um ambiente com sensores e com elementos que os atores possam interagir. Um problema percebido com o DiaSim foi a dificuldade em se localizar uma comunidade que ainda o utilize ou ainda encontrar trabalhos que o citam.

O último simulador, o Siafu, foi o escolhido para esse trabalho. É um simulador de contexto de código aberto criado com a linguagem Java. Ele é customizável, e permite

²<http://siafusimulator.org/>

a criação de diferentes ambientes e cenários inteligentes.

Cada cenário executado no Siafu é interativo e possui diferentes agentes, sejam eles pessoas, veículos, sensores, entre outros. Cada mudança que ocorre no contexto pode ser visualizada em sua interface gráfica, assim como em arquivos de extensão csv. O Siafu já possui algumas simulações prontas e conta também com um tutorial de como criar simulações personalizadas.

A escolha do Siafu justifica-se devido a sua adequação a arquitetura proposta do trabalho. Entre os simuladores analisados, o mesmo fornece código aberto, possibilitando customização, tutorial de criação de cenários, sejam eles de cidades inteligentes ou não, além de funcionar em larga escala.

Por meio do Siafu é possível criar diferentes ambientes inteligentes. Esses podem ser compostos por sensores, pessoas e mudanças no contexto, o que permite a geração de dados para que aplicações sejam desenvolvidas, testadas e validadas no âmbito de cidades inteligentes. Além disso, os sensores utilizados e propostos na simulação podem simular o funcionamento dos objetos que utilizam a Internet das Coisas. Por fim, os dados são disponibilizados em tempo real, de forma que a arquitetura proposta possa funcionar.

Se tratando de um simulador de código aberto, as simulações do Siafu não geram custos, o que minimiza problemas em se ter acesso a ambientes que custam caro. A execução de diversas simulações simultaneamente também é possível, permitindo que diversos ambientes gerem dados para que uma aplicação possa utilizá-los. Ademais, ambientes que ainda não são inteligentes podem ser simulados como tal e terem analisados o seu contexto, permitindo o desenvolvimento de aplicações para o mesmo.

A seguir, uma síntese dos simuladores explicitados acima é feita na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Síntese dos simuladores

Simuladores	Vantagens	Desvantagens
Persim	<ul style="list-style-type: none"> a. Software 3D; b. Geração de dados em tempo real; c. Criação de pequenos ambientes; 	<ul style="list-style-type: none"> a. Complexidade para configurar o simulador; b. Dificuldade para alocar sensores; c. Projeto descontinuado;
DiaSim	<ul style="list-style-type: none"> a. Abordagem eficaz para computação pervasiva; b. Geração de dados em tempo real; c. Criação de ambientes e atores customizáveis; 	<ul style="list-style-type: none"> a. Não possui foco em criação de contextos; b. Projeto descontinuado; c. Pouca utilização em trabalhos;
Siafu	<ul style="list-style-type: none"> a. Código aberto; b. Geração de dados em tempo real; c. Abordagem eficaz para criação de contextos; d. Comunidade ativa para melhorias; 	<ul style="list-style-type: none"> a. Dificuldade para lidar com grandes simulações; b. Projeto descontinuado;

4.2 Experimento

Para o experimento de adequação a arquitetura proposta e geração de dados, propõe-se a criação de uma simulação cujo ambiente inteligente é a Universidade Federal de Juiz de Fora. A simulação projetada trata do campus de Juiz de Fora e cria um cenário de dia letivo comum, onde alunos assistem aulas, almoçam e jantam, pessoas caminham livremente pelo campus e funcionários exercem as suas funções. Ao todo são definidos 300 agentes (atores da simulação). A Figura 4.1 ilustra o cenário proposto numa simulação do Siafu.



Figura 4.1: Mapa da simulação utilizado no Siafu.

Nesse contexto demonstrado pela Figura 4.1, as pessoas que vão até a Universidade Federal de Juiz de Fora exercem as suas atividades e depois voltam para as suas residências. Conforme as horas do dia vão passando, diferentes atitudes são tomadas pelos atores presentes na simulação. Ainda no Siafu, a realização de uma simulação pode ser executada por tempo indeterminado.

Além do ambiente inteligente representado por toda a Figura 4.1, existem locais onde as pessoas podem trabalhar, se alimentar, assistirem aulas ou simplesmente transitarem. Ao todo, 23 locais são definidos dentro do campus, sendo eles: Centro de Biologia da Reprodução, Centro de Gestão do Conhecimento Organizacional, Centro Regional de Inovação de Transferência de Tecnologia, Faculdade de Administração e Ciências Contábeis, Faculdade de Arquitetura, Faculdade de Comunicação, Faculdade de Direito, Faculdade de Economia, Faculdade de Educação, Faculdade de Educação Física e Desportos, Faculdade de Engenharia, Faculdade de Letras, Instituto de Artes e Design, Instituto de Ciências Biológicas, Instituto de Ciências Exatas, Instituto de Ciências Exatas antigo, Instituto de Ciências Humanas, Portão Norte, Portão Sul, Pró Reitoria de Infraestrutura, Reitoria e Restaurante Universitário. O ambiente ainda é composto de três sensores, sendo eles: nebulosidade, pluviometria e temperatura. É definido, ainda, um índice regiões com maior criminalidade no mapa.

Todos os detalhes supracitados podem ser definidos quando projetada uma simulação. O usuário apenas deve realizar a sua definição e fazer a sua configuração, de forma que o contexto possa ser estabelecido. Por exemplo, uma aplicação, ainda em fase de projeto, conforme o protótipo apresentado na Figura 4.2, que implementa a arquitetura proposta pode se beneficiar desse ambiente.



Figura 4.2: Protótipo de aplicação que utiliza a arquitetura apresentada.

O aplicativo exposto na Figura 4.2 utiliza a simulação e os seus dados para permitir que requisitos funcionais da aplicação sejam atingidos. É possível visualizar funcionalidades que tratam de informar problemas em determinadas áreas do mapa, assim como receber alertas em tempo real de problemas, por exemplo, de mobilidade urbana. Além disso, mapas da cidade (ambiente) podem ser visualizados e gráficos emitidos para que a tomada de decisão de gestores fosse apoiada.

Na simulação, os atores compartilham dados de localização, dessa forma, é possível saber se estão em áreas de risco, em uma área em que está chovendo, qual a temperatura a que está submetido ou ainda se há nebulosidade. O mesmo também se locomove, assim é possível acompanhar a sua rotina dentro da Universidade. Todas essas informações estão disponíveis visualmente e em arquivos de formato csv. A Figura 4.3 mostra como os dados de um ator são exibidos em uma simulação.

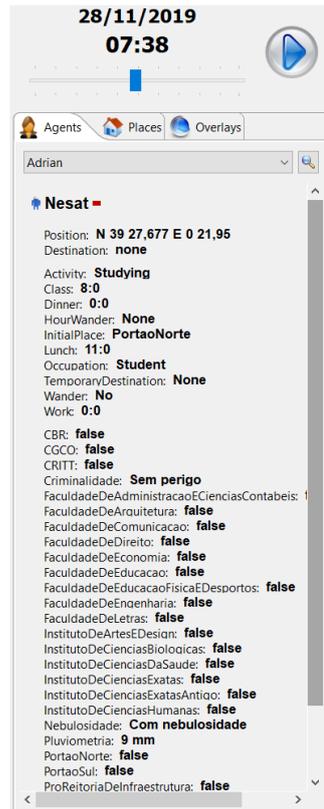


Figura 4.3: Interface gráfica para exibição dos dados por meio do SIAFU.

Na Figura 4.3, o agente simulado se chama Nesat. A sua posição geográfica é demonstrada, assim como o seu destino no mapa, o que ele está fazendo, a que horas ele possui suas obrigações, e de qual lugar ele veio. Além disso, é possível representar a sua localidade, representado pelo valor *true*, e as condições às quais está submetido de acordo com os sensores, como por exemplo, nebulosidade e pluviometria.

Os locais definidos dentro do campus possuem informações de quem está ao seu redor, devido ao compartilhamento da localização. Os sensores do ambiente, tais como temperatura, nebulosidade e pluviometria, geram dados também para os 23 locais presentes.

A visualização por meio da interface gráfica dos dados é útil pois permite analisar como cada ator, presente no ambiente, está sendo submetido ao seu contexto e às suas variações. Entretanto, para que seja possível utilizar a simulação no primeiro módulo da arquitetura, a geração de dados de contexto, por meio do simulador, é o principal fator de importância. Isso acontece devido ao fato de que o módulo seguinte depende de dados,

os quais devem representar de forma fiel os existentes nas cidades inteligentes.

As dificuldades para geração e obtenção dos dados podem ser diluídas com a utilização da simulação. Cada ambiente simulado gera diversos arquivos que possuem a extensão csv, os mesmos podem ser abertos em programas computacionais que realizam leituras de tabelas. Sistemas computacionais podem também realizar a junção de todos esses arquivos em um só, concentrando-os para que a próxima camada realize a sua interpretação. A Figura 4.4 ilustra como os dados são escritos em arquivos de extensão csv.

time	entityID	position	#Destination	Activity	Class	Dinner	HourWander	InitialPlace	Lunch	Occupation	TemporaryDestin	Wander	Work
Text: 1574906430	Text: Franklin	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:21#0	Text:PortaoNorte	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Blanch	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	Text:None	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Worker	Text:None	Text:No	EasyTime:14#0
Text: 1574906430	Text: Blas	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:14#0	EasyTime:17#0	Text:None	Text:PortaoSul	EasyTime:11#0	Text:Student	Text:None	Text:No	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Kara	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:8#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Ekeka	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:21#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Oli	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:18#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Diwa	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:19#0	EasyTime:17#0	Text:None	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Student	Text:None	Text:No	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Meranti	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:10#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Penny	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	Text:None	Text:PortaoNorte	EasyTime:0#0	Text:Worker	Text:None	Text:No	EasyTime:8#0
Text: 1574906430	Text: Francisco	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:8#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Karl	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	Text:None	Text:PortaoNorte	EasyTime:0#0	Text:Worker	Text:None	Text:No	EasyTime:8#0
Text: 1574906430	Text: Debby	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:9#0	Text:PortaoNorte	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Nungu	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:15#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Theo	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:9#0	Text:PortaoNorte	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Estelle	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:9#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Qoli	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:14#0	Text:PortaoNorte	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Usha	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:21#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Haima	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	Text:None	Text:PortaoNorte	EasyTime:0#0	Text:Worker	Text:None	Text:No	EasyTime:14#0
Text: 1574906430	Text: Philippe	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:20#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Yagi	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	Text:None	Text:PortaoNorte	EasyTime:0#0	Text:Worker	Text:None	Text:No	EasyTime:14#0
Text: 1574906430	Text: Olwyn	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:18#0	Text:PortaoNorte	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0
Text: 1574906430	Text: Koppu	de.nec.nle.siafu	BooleanType:true	Text:Waiting	EasyTime:0#0	EasyTime:0#0	EasyTime:10#0	Text:PortaoSul	EasyTime:0#0	Text:Wander	Text:None	Text:Yes	EasyTime:0#0

Figura 4.4: Dados gerados pela simulação em um arquivo de extensão .csv.

Na Figura 4.4, o campo “*time*” representa o horário em que uma determinada ação aconteceu, o “*entityId*” diz respeito a quem foi o autor. O “*position*” relata onde um usuário está naquele momento, “*Activity*” trata do que o ator está realizando. Os campos de “*Class*”, “*Dinner*”, “*HourWander*” e “*Lunch*” tratam dos horários que determinadas ações devem acontecer por parte daquele ator. Já “*InitialPlace*” diz a origem do ator na simulação, assim como “*Occupation*” qual é o seu papel representado, se o mesmo é estudante, trabalhador ou pessoas que andam pelo campus.

Todos os dados presentes na Figura 4.3 da interface gráfica de dados são escritos também nesse arquivo. Ao analisar os dados, da forma que foram expostos na figura, os mesmos não possuem nenhum tipo de significado. Contudo, após tratamento por meio de uma rotina computacional, os mesmos podem ser úteis para diferentes aplicações. Por exemplo, dados referentes a localização das pessoas podem ser úteis para a mobilidade urbana, assim como para a segurança pública. Os dados de monitoramento dos locais

permitem também a gestão dos espaços, sejam eles públicos ou privados.

Dessa maneira, após a geração de dados pelo Siafu, os mesmos foram trabalhados por meio de uma rotina na linguagem de programação Python³ e armazenados no banco de dados Postgres⁴, ver apêndice D. Por meio de consultas ao banco de dados, gráficos foram gerados para que fosse possível averiguar se os mesmos se adequariam ao protótipo da Figura 4.2. O primeiro conjunto de gráficos gerados, por meio da análise dos dados, visa responder quais as condições do ambiente às pessoas que estão na simulação estão sendo submetidas às 11 horas e 30 minutos.



Figura 4.5: Pluviometria às 11 horas e 30 minutos

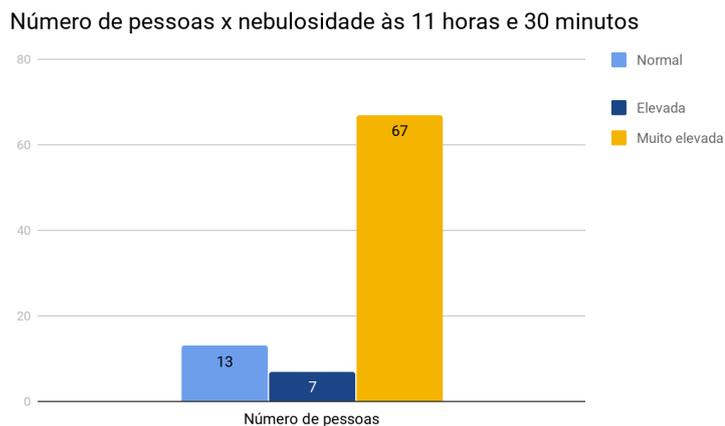


Figura 4.6: Nebulosidade às 11 horas e 30 minutos.

³<https://www.python.org/>

⁴<https://www.postgresql.org/>

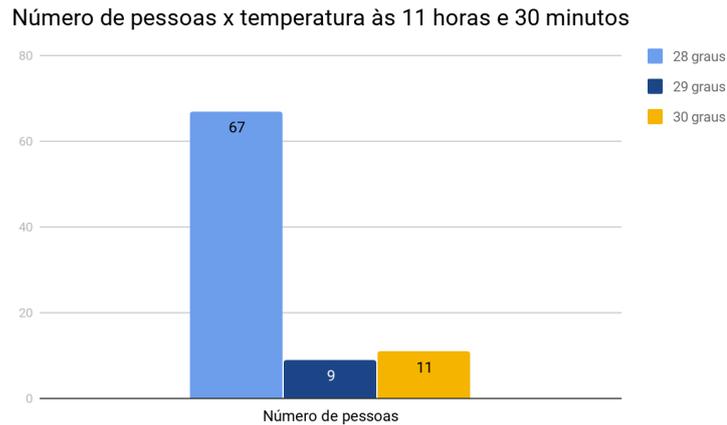


Figura 4.7: Temperatura às 11 horas e 30 minutos.

Os três gráficos (representados pelas Figuras 4.5, 4.6 e 4.7) demonstram as informações do ambiente e quantas pessoas estão sendo submetidas a um determinado contexto às 11 horas e 30 minutos. Na figura 4.5, os sensores da simulação identificam a existência de dois índices pluviométricos no ambiente, sendo que 67 pessoas estão sendo expostas a 8 milímetros de chuva e 20 pessoas a 9 milímetros de chuva.

A Figura 4.6 aborda a nebulosidade a qual atores estão sendo submetidos. Do total, 13 pessoas estão sendo submetidas a uma nebulosidade normal, 7 pessoas a elevada e 67 pessoas estão em um local com muita nebulosidade. Já a Figura 4.7 diz respeito ao número de pessoas e qual a temperatura do ambiente em que estão. Sendo que 67 pessoas estão em um espaço onde faz 28 graus celsius, 9 pessoas estão em um lugar que faz 29 graus celsius e 11 pessoas estão em um ambiente que faz 30 graus celsius.

Uma outra pergunta que pode ser feita com base nos dados da simulação trata do número de pessoas que estão almoçando às 12 horas e, caso não esteja, o que elas estão fazendo e em qual lugar. O gráfico, representado pela Figura 4.8, tenta responder a essa pergunta.



Figura 4.8: Atividade sendo realizada às 12 horas.

Por meio da análise gráfica e da análise dos dados, 59 pessoas estavam almoçando às 12 horas, 7 trabalhavam no Centro de Gestão do Conhecimento Organizacional (CGCO), 10 trabalhavam no Centro Regional de Inovação de Transferência de Tecnologia, 5 trabalhavam na Reitoria e 6 na Pró-Reitoria de Infraestrutura.

O conjunto de dados também permite analisar quantas pessoas assistiram aula antes de irem almoçar e quais almoçaram e irão assistir aula em sequência ao almoço na universidade. O gráfico, exposto na Figura 4.9, busca ilustrar essa questão.

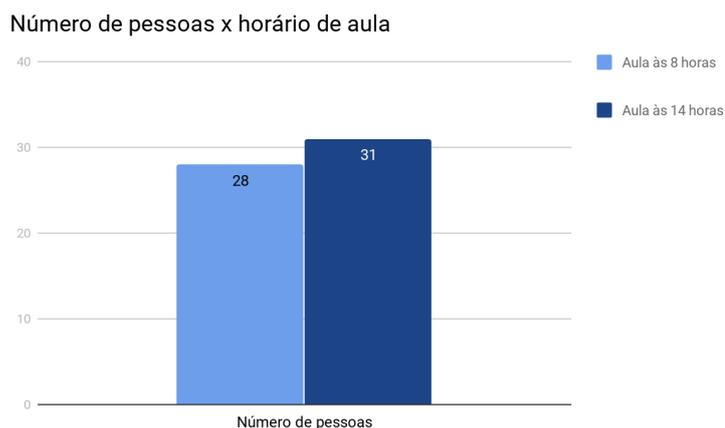


Figura 4.9: Horário da aula dos estudantes da simulação.

O gráfico da Figura 4.9 permite ainda analisar os estudantes que estão almoçando e se eles já tiveram as suas aulas e se os mesmos ainda irão frequentar as classes. Os dados gerados permitem observar que 28 alunos já cumpriram às suas obrigações e 31 alunos ainda irão realizar suas atividades.

Por meio da análise dos gráficos é possível enxergar como os dados são ricos e fornecem informações sobre o meio. Independente do tipo de sensor utilizado ou de quem sejam os atores, o conjunto necessário para análise do contexto sempre é gerado. Essa abordagem, permite que os diversos domínios inteligentes possam ter a sua representação de contexto criada e atendidos.

A diminuição da complexidade da obtenção de dados de diferentes contextos, bem como a disponibilidade de se adaptar a eles são algumas das vantagens presentes na simulação. Adicionalmente, cabe ressaltar que os aspectos de interoperabilidade podem ser avaliados, independente dos protocolos e dos tipos de interoperabilidade que estão sendo avaliados.

Dessa maneira, a simulação mostra-se como uma alternativa para as arquiteturas computacionais que necessitam de dados das cidades ou ambientes que sejam inteligentes. Os dados necessários para o apoio ao desenvolvimento, teste e validação de aplicações podem ser obtidos por meio do módulo de simulação, o qual representa de forma fiel a realidade.

5 Conclusões

Por meio da expansão dos centros urbanos, e a crescente quantidade de objetos do dia a dia que necessitam se comunicar, o desenvolvimento de aplicações de IoT se tornou uma tarefa que precisa realizar testes e validações através de simulações. Isso se deve à dificuldade de acesso a ambientes em contextos reais, muitas vezes sem estrutura inteligente, com difícil acesso aos dados, tecnologias mutáveis de forma rápida ou com custo elevado de operações.

O presente trabalho apresenta uma arquitetura computacional baseada em simulações projetadas para resolver o problema supracitado. Com o objetivo de simular cidades inteligentes que utilizam o paradigma de Internet das Coisas, este trabalho descreve como novas aplicações podem se beneficiar de uma arquitetura que forneça qualidade, permitindo a geração de dados e a criação de contextos semelhantes aos já existentes nas cidades.

Os atributos de qualidade dessa arquitetura visam garantir que a mesma seja adaptável, escalável, possua bom desempenho, atendendo às necessidades dos desenvolvedores do meio. A sua modularização permitiu o isolamento das aplicações e que cada área possa ser estudada de forma separada, garantindo que vários domínios das cidades inteligentes se beneficiem dessa abordagem.

No que se refere aos módulos da arquitetura exposta, buscou-se encapsular cada um dos núcleos de um sistema para a área. A abordagem utilizada permite que uma aplicação possua modularização e não seja monolítica, o que, de acordo com a literatura, garante que a mesma atenda aos atributos de qualidade especificados.

O experimento executado neste trabalho visa expor como uma simulação pode enriquecer a geração de dados e permitir que ambientes possam ser reproduzidos de forma fiel e que se assemelham à realidade. Os resultados obtidos com a simulação foram os esperados e permitem validar a arquitetura proposta, de forma que, a mesma seja adaptada para uma nova proposta de solução. No caso de simulações muito grandes, o seu desempenho pode ser afetado, o que em alguns momentos fez com que o tamanho do

experimento tivesse que ser diminuído. Para tal, foi necessário que o número de atores e locais fosse reduzido.

Como contribuição o presente trabalho apresentou uma arquitetura que utiliza ambientes de simulação para a área de engenharia de *software* com foco em desenvolvimento, teste e validação.

Como trabalhos futuros, cada módulo poderá ser estudado individualmente e melhorias poderão ser propostas de forma que se garanta otimização, melhoria e vantagens no processo de *software*. Além disso, a interoperabilidade em IoT necessita ser explorada, considerando-se os diferentes níveis que necessitam ser tratados pelas aplicações, tais como: sintático, semântico e pragmático. O presente trabalho não buscou apresentar quais as tecnologias podem ser utilizadas ou possibilitam cada um dos módulos, tal estudo poderá ser feito futuramente.

Ademais, outro trabalho que pode ser realizado trata do desenvolvimento de um sistema que faça uso da arquitetura proposta. Esse pode ser feito para que um contexto real possa ser mais explorado ou para que seja criado um novo ambiente inteligente, garantindo as aplicações para o meio. Por exemplo, considere que uma cidade necessite implantar aplicações de IoT. Entretanto, ela não possui infraestrutura para tanto, porém, simulações podem ser utilizadas para levantar requisitos funcionais (emergentes) através da arquitetura proposta

Bibliografia

- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities—definitions, dimensions, and performance. *Proceedings IFKAD*, p. 1723–1738, 2013.
- ARASTEH, H. et al. Iot-based smart cities: a survey. In: IEEE. *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*. [S.l.], 2016. p. 1–6.
- ASIMAKOPOULOU, E.; BESSIS, N. Buildings and crowds: Forming smart cities for more effective disaster management. In: IEEE. *2011 Fifth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*. [S.l.], 2011. p. 229–234.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer networks*, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- BAKICI, T.; ALMIRALL, E.; WAREHAM, J. A smart city initiative: the case of barcelona. *Journal of the knowledge economy*, Springer, v. 4, n. 2, p. 135–148, 2013.
- BRUNEAU, J.; CONSEL, C. Diasim: a simulator for pervasive computing applications. *Software: Practice and Experience*, Wiley Online Library, v. 43, n. 8, p. 885–909, 2013.
- CHOURABI, H. et al. Understanding smart cities: An integrative framework. In: IEEE. *2012 45th Hawaii international conference on system sciences*. [S.l.], 2012. p. 2289–2297.
- COCCHIA, A. Smart and digital city: A systematic literature review. In: *Smart city*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 13–43.
- COUCLELIS, H. The construction of the digital city. *Environment and Planning B: Planning and design*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 31, n. 1, p. 5–19, 2004.
- DRAGOICEA, M.; PATRASCU, M.; SEREA, G. A. Real time agent based simulation for smart city emergency protocols. In: IEEE. *2014 18th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*. [S.l.], 2014. p. 187–192.
- GIFFINGER, R.; GUDRUN, H. Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities? *ACE: architecture, city and environment*, Centre de Política del Sòl i Valoracions-Universitat Politècnica de Catalunya, v. 4, n. 12, p. 7–26, 2010.
- GOMEZ, C. et al. Internet of things for enabling smart environments: A technology-centric perspective. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, IOS Press, v. 11, n. 1, p. 23–43, 2019.
- GRIZHNEVICH, A. *IoT for Smart Cities: Use Cases and Implementation Strategies*. 2018. Disponível em: <https://www.scnsoft.com/blog/iot-for-smart-city-use-cases-approaches-outcomes>.
- HELAL, S. et al. Persim-simulator for human activities in pervasive spaces. In: IEEE. *2011 Seventh International Conference on Intelligent Environments*. [S.l.], 2011. p. 192–199.

- KAMIENSKI, C. et al. Computação urbana: Tecnologias e aplicações para cidades inteligentes. *Minicursos SBRC*, 2016.
- KANTER, R. M.; LITOW, S. S. Informed and interconnected: A manifesto for smarter cities. *Harvard Business School General Management Unit Working Paper*, n. 09-141, 2009.
- KOMNINOS, N. Intelligent cities: Variable geometries of spatial intelligence. In: *From Intelligent to Smart Cities*. [S.l.]: Routledge, 2015. p. 46–62.
- MUKHOPADHYAY, S. C.; SURYADEVARA, N. K. Internet of things: Challenges and opportunities. In: *Internet of Things*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 1–17.
- NEIROTTI, P. et al. Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts. *Cities*, Elsevier, v. 38, p. 25–36, 2014.
- PATEL, P.; CASSOU, D. Enabling high-level application development for the internet of things. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 103, p. 62–84, 2015.
- PELLICER, S. et al. A global perspective of smart cities: A survey. In: IEEE. *2013 Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*. [S.l.], 2013. p. 439–444.
- SANTANA, E. F. Z. et al. Software platforms for smart cities: Concepts, requirements, challenges, and a unified reference architecture. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, ACM, v. 50, n. 6, p. 78, 2018.
- SILVA, W. M. da et al. Smart cities software architectures: a survey. In: ACM. *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. [S.l.], 2013. p. 1722–1727.
- TEI, K.; GÜRGEN, L. Clout: Cloud of things for empowering the citizen clout in smart cities. In: IEEE. *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. [S.l.], 2014. p. 369–370.
- UMILIO, F. et al. Uma abordagem em ambiente domiciliar assistido baseada no paradigma de segurança orientada a contexto. Florianópolis, SC, 2018.
- VELÁSQUEZ, W. et al. Resilient smart cities: An approach of damaged cities by natural risks. In: IEEE. *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*. [S.l.], 2018. p. 591–597.
- WENGE, R. et al. Smart city architecture: A technology guide for implementation and design challenges. *China Communications*, IEEE, v. 11, n. 3, p. 56–69, 2014.
- ZANELLA, A. et al. Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, IEEE, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014.

A Apêndice Instalação do Siafu

Este apêndice tem como objetivo auxiliar na instalação do Siafu. Como o projeto foi descontinuado, muitas dependências do código escrito em Java foram perdidas. Abaixo, um passo a passo da instalação.

- Acessar o repositório no *GitHub*: <https://github.com/tfeijo/Siafu>;
- Selecionar ” *Clone or download*”;
- Apertar em ” *Download ZIP*”;
- Descompacte o arquivo;
- Caso não possua, faça download da *IDE Eclipse*⁵;
- Realize a importação do Siafu como um projeto *Maven*;
- Clique com o botão na pasta do projeto e selecione ” *Run Maven Install*”;
- Clique em ” *Run*” e execute o Siafu;

Caso algum problema ocorra durante a instalação, use os arquivos que estão presentes na pasta ”1.0.6-Snapshot” e cole-os na sua pasta de repositórios do computador.

⁵<https://www.eclipse.org/downloads/>

B Apêndice Como executar e obter o código fonte da simulação da Universidade Federal de Juiz de Fora

Este apêndice tem como objetivo auxiliar na execução da simulação da Universidade Federal de Juiz de Fora, via simulador Siafu. Abaixo, um passo a passo da execução.

- Acessar o repositório no *GitHub*: <https://github.com/mateusgon/siafu-ufjfsimulation>;
- Selecionar ” *Clone or download*”;
- Apertar em ” *Download ZIP*”;
- Descompacte o arquivo;
- Caso não possua, faça download da *IDE Eclipse*;
- Realize a importação da simulação como um projeto *Maven*;
- Clique com o botão na pasta do projeto e selecione ” *Run Maven Install*”;
- Execute o Siafu;
- Vá em Simulation e selecione *Open packed simulation*;
- Selecione dentro da pasta da simulação, a pasta ” *Target*”;
- Selecione o arquivo de extensão ”.jar”.

O código fonte utilizado para a construção da simulação pode ser encontrado no repositório do *GitHub*.

C Apêndice Instruções para a criação de simulações

Este apêndice visa elucidar como simulações para o Siafu podem ser criadas. Os interessados devem, inicialmente, definirem um ambiente ou uma cidade. Por meio dessa escolha, os mesmos devem estabelecer como o contexto irá funcionar, quem serão os atores, os sensores e qual o grau de proximidade com a realidade será reproduzido.

Com todas essas definições em vista, os interessados devem gerar imagens necessárias para quatro pastas. Todas as imagens devem ter o mesmo tamanho, pois é desta forma que o Siafu cria o contexto.

Na pasta *map* é necessário definir duas imagens. A imagem *background* irá representar a tela que o simulador irá exibir. A *walls* estabelecerá por onde os atores poderão andar. Os traços na cor preta representam os caminhos, enquanto o que estiver em branco representa paredes.

Na pasta *overlays* deverão ser definidas quais regiões cada imagem representa. Existem dois tipos de *overlays*. O primeiro representa os locais, uma mancha gerada em uma imagem com o nome de um local define que aquela é uma área do mesmo. O segundo diz respeito a níveis que os sensores podem captar, os quais podem variar em cinco níveis de intensidade. Por exemplo, na simulação da Universidade Federal de Juiz de Fora, os primeiros definem os locais e os segundos definem temperatura, nebulosidade, pluviometria e criminalidade.

Na pasta *places*, todos os locais que estão presentes em *overlays* devem ser definidos como um pixel na imagem. Os nomes devem ser iguais e caso haja mais de um pixel, serão registrados mais do que um local com o mesmo nome.

A pasta *sprites* possui todas as imagens de atores. É possível customizar, contudo, o grande número de figuras já definidas faz com que a necessidade de criação seja diminuída.

Após a criação das imagens, dentro da pasta *resources* existe um arquivo chamado

”config.xml”. Esse arquivo deve ser modificado. Os interessados devem informar o nome, a latitude e a longitude do local, a data da simulação, quais *sprites* serão utilizadas, as classes de programação e os *overlays*.

Definidas todas as partes anteriores, a simulação deverá ser programada nas classes declaradas. Caso seja necessário ou haja interesse, o Siafu poderá sofrer modificações em seu código para que se atendam especificidades de cada simulação. A linguagem de programação a ser utilizada para a programação do contexto inteligente será Java. Os atores deverão ser criados, o número populacional estabelecido, as ações de cada pessoa programadas e a dinamicidade do ambiente também. A simulação *Testland*⁶ pode ser utilizada como base nesse momento.

O processo se encerra depois que todos os itens supracitados forem concluídos. Os dados estarão disponíveis na pasta declarada no simulador e a interface gráfica apresentará as interações. Em caso de dificuldades, o site do Siafu também exemplifica como simulações podem ser criadas.

⁶<http://siafusimulator.org/simulations/testland/>

D Apêndice Rotina em Python para lidar com dados

Este apêndice apresenta a rotina em linguagem de programação Python. A tal foi necessária para que os dados gerados pela simulação fossem trabalhados e fossem escritos em um arquivo de extensão .sql. Com esse é possível realizar inserções em qualquer banco de dados.

Os dados persistidos no banco Postgres receberam consultas na linguagem SQL para que os dados fossem agrupados.

Os interessados podem, então, realizar consultas e transformar os dados que desejarem em informações. Abaixo, o código utilizado é disponibilizado.

```

1
2 import csv
3 from datetime import datetime
4 database = ''
5 table = 'teste'
6 primeiro = False;
7
8 def printUFJF(inputFile, outputFile):
9     lines = csv.DictReader(inputFile)
10    if not primeiro:
11        sql = f'CREATE TABLE {table} ('
12
13        for header in lines.fieldnames:
14            sql += header + ' VARCHAR(255) ,'
15        sql = sql[:-1]
16        sql += ') \n\n'
17        outputFile.write(sql)
18
19    sql += f"INSERT INTO {table} " \
20        f"(time, entityID, position, atDestination, Activity," \
21        f" Class, Dinner, HourWander, InitialPlace, Lunch," \
22        f" Occupation, TemporaryDestination, Wander, Work, CBR," \
23        f" CGCO, CRITT, Criminalidade,
24        FaculdadeDeAdministracaoECienciasContabeis,
25        FaculdadeDeArquitetura, FaculdadeDeComunicacao," \
26        f" FaculdadeDeDireito, FaculdadeDeEconomia,
27        FaculdadeDeEducacao,
```

```

    FaculdadeDeEducacaoFisicaEDesportos ,
    FaculdadeDeEngenharia ," \
25 f" FaculdadeDeLetras , InstitutoDeArtesEDesign ,
    InstitutoDeCienciasBiologicas ,
    InstitutoDeCienciasDaSaude , InstitutoDeCienciasExatas
    ," \
26 f" InstitutoDeCienciasExatasAntigo ,
    InstitutoDeCienciasHumanas , Nebulosidade ,
    Pluviometria , PortaoNorte , PortaoSul ,
    ProReitoriaDeInfraestrutura ," \
27 f" Reitoria , RestauranteUniversitario , Temperatura ) "
    \
28 f"VALUES " \
29 f"( " \
30 f"%s , %s , %s,%s , %s" \
31 f"%s , %s , %s,%s , %s" \
32 f"%s , %s , %s,%s , %s" \
33 f"%s , %s , %s , %s,%s , %s" \
34 f"%s , %s , %s,%s , %s" \
35 f"%s , %s , %s,%s , %s" \
36 f"%s , %s , %s,%s , %s , %s , %s" \
37 f"%s , %s , %s" \
38 f")"
39 for line in lines:
40     sql = f"INSERT INTO {table} " \
41         f"(time , entityID , position , atDestination ,
42           Activity ," \
43           f" Class , Dinner , HourWander , InitialPlace , Lunch ,"
44           \
45           f" Occupation , TemporaryDestination , Wander , Work ,
46           CBR ," \
47           f" CGCO , CRITT , Criminalidade ,
48           FaculdadeDeAdministracaoECienciasContabeis ,
49           FaculdadeDeArquitetura , FaculdadeDeComunicacao ,"
50           \
51           f" FaculdadeDeDireito , FaculdadeDeEconomia ,
52           FaculdadeDeEducacao ,
           FaculdadeDeEducacaoFisicaEDesportos ,
           FaculdadeDeEngenharia ," \
           f" FaculdadeDeLetras , InstitutoDeArtesEDesign ,
           InstitutoDeCienciasBiologicas ,
           InstitutoDeCienciasDaSaude ,
           InstitutoDeCienciasExatas ," \
           f" InstitutoDeCienciasExatasAntigo ,
           InstitutoDeCienciasHumanas , Nebulosidade ,
           Pluviometria , PortaoNorte , PortaoSul ,
           ProReitoriaDeInfraestrutura ," \
           f" Reitoria , RestauranteUniversitario , Temperatura
           ) " \
           f"VALUES " \
           f"( "
           for header in lines.fieldnames:
           if header == 'time':

```

```
53         time = int(line[header].split(':', 1)[1])
54         datetime = datetime.fromtimestamp(time / 1000)
55         sql += f" '{ datetime}',"
56     else:
57         sql += f" '{line[header].split(':',1)[1] }',"
58
59     sql = sql[:-1] + ');'
60     outputFile.write(sql)
61     outputFile.write('\n')
62     print(sql)
63
64 def main():
65     outputFile = open("./dataInsertion.sql", "w")
66     for i in range(1500, 1600):
67         if i > 0:
68             primeiro = True
69             inputFile = open(f'Seu diret rio de entrada do arquivo')
70             printUFJF(inputFile, outputFile)
71             inputFile.close()
72             print(f'Interaction {i} in UFJF')
73
74
75     outputFile.close()
76
77 if __name__ == '__main__':
78     main()
```