



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Uma Abordagem Colaborativa Para a Avaliação de Sensores em Ambientes de Internet das Coisas

Jônatas Ribeiro Senna Pires

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Engenharia da Computação

Orientadora
Prof.a Dr.a Maristela Terto de Holanda

Brasília
2019



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Uma Abordagem Colaborativa Para a Avaliação de Sensores em Ambientes de Internet das Coisas

Jônatas Ribeiro Senna Pires

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Engenharia da Computação

Prof.a Dr.a Maristela Terto de Holanda (Orientadora)
CIC/UnB

Prof.a Dr.a Genaína Nunes Rodrigues Prof. Dr. Denis
Universidade de Brasília

Prof. Dr. José Edil Guimarães de Medeiros
Coordenador do Curso de Engenharia da Computação

Brasília, 17 de junho de 2019

Dedicatória

Eu dedico este trabalho aos meus pais, Marta e Sérgio. À minha irmã Tata e seu marido Pedro. Aos meus avós, José e Virgínia, falecida durante a execução deste trabalho. Aos alunos do curso de Engenharia de Computação que enfrentam a depressão.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Marta e Sérgio, sem o apoio deles eu não conseguiria chegar ao fim da graduação. À minha irmã Tata e seu marido Pedro, que sempre me escutaram, aconselharam e me aguentaram. À minha namorada Amanda, que me suportou durante os períodos mais estressantes. Aos meus amigos, em especial para a Bianca Denser, que leu este texto uma boa quantidade de vezes. E, finalmente, à minha cachorrinha Hera, sua inestimável companhia durante as incontáveis horas de trabalho ajudaram tornar este período tolerável.

Resumo

Este estudo trata do domínio da Internet das Coisas, do inglês Internet of Things (IoT), que consiste na interconexão de dispositivos sensitivos e atuadores com a finalidade de atingir uma grande variedade de objetivos, por exemplo, automação predial, controle de processos produtivos e transporte inteligente. Ao incluir o usuário como participante ativo do ambiente de Internet das Coisas, permite-se a sua contribuição específica com os sistemas por meio da inserção de informações que os dispositivos, autonomamente, não têm a capacidade de coletar, como certas características ambientais variáveis ou abrangentes, suas especificidades ou até mesmo as percepções humanas sobre elas. Utilizando essas noções fornecidas pelo usuário humano, é possível que o sistema obtenha mais dados sobre o ambiente, sobre a comunidade e a espacialidade na qual está inserido, melhorando a sua capacidade em decidir assertivamente a partir do processamento conjunto entre os dados autonomamente coletados e as informações colaborativas fornecidas. Para tanto, nesse estudo, as seguintes fases foram realizadas com o desenvolvimento de: (1) um ambiente IoT em escala reduzida; (2) o sistema SenseHera, um sistema web para aquisição, armazenamento e acesso das informações; (3) um módulo que realize a avaliação da qualidade dos sensores em termos de sua disponibilidade e regularidade, a partir das informações coletadas pelos dispositivos e fornecidas pelos colaboradores. Após o período de coleta de dados (noventa e cinco dias) foi realizado um teste comparativo entre a pontuação calculada pelo sistema e a pontuação obtida a partir de uma ferramenta amplamente utilizada na indústria para avaliação de qualidade de equipamentos.

Palavras-chave: metadados, IoT, Internet das Coisas, sistemas colaborativos, avaliação de sensores

Abstract

Internet of Things (IoT) can be defined as the interconnection of sensitive devices and actuators with a common purpose, such as building automation, industrial process control, and intelligent transportation. As the user of a system is included as an active participant of the IoT environment, it can contribute with the system by providing informations that the devices, by themselves, don't have the capacity to obtain such as variable environmental features, their specificities and the human perceptions about them. By using the informations provided by the human user it is possible that the system could gain more data about the environment, community and the space that it works in, improving it's capabilities of decision making after processing the data supplied by the network of sensors and the data provided by the users, collaboratively. In the pursuit of this objective, the following steps were achieved with the development of: (1) a small scale IoT environment; (2) the SenseHera system, a web system for acquisition, storage and access of informations provided by the IoT network; (3) a module that evaluates the quality of a sensor, based on it's disponibility, and regularity of sensors using the informations provided by the sensors and the users. After the data collection period (ninety five days) the score provided by the system was compared to the score obtained with a tool hat is vastly used, in industry context, to calculate equipment effectiveness.

Keywords: metadata, IoT, Internet of Things, collaborative systems, sensor evaluation

Sumário

1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Estrutura do Trabalho	2
2 Fundamentação Teórica	4
2.1 Sistemas Colaborativos	4
2.1.1 Colaboração versus Interação	4
2.2 Internet das Coisas	6
2.2.1 Definição de Internet das Coisas	8
2.2.2 Tecnologias Essenciais	9
2.2.3 Desafios da Internet das Coisas	10
2.3 Dados	11
2.3.1 Metadados	12
2.3.2 Metadados de Sensores	12
2.4 Qualidade	13
2.5 Plataforma de Hardware	14
2.5.1 Histórico	14
2.5.2 Características de Hardware	14
2.5.3 Características de Software	15
3 Revisão da Literatura	16
3.1 Planejamento	16
3.1.1 Questões de Estudo	16
3.1.2 Estratégia de Busca	17
3.2 Execução	18
3.2.1 Processo de Seleção dos Estudos	18

3.2.2 Resultado da Seleção de Estudos	19
3.3 Conclusão da Revisão da Literatura	20
4 Sistema SenseHera	21
4.1 Desenvolvimento do Sistema SenseHera	21
4.1.1 Requisitos	21
4.1.2 Funcionamento	22
4.1.3 Servidor	24
4.1.4 Banco de Dados	25
4.1.5 O Sistema de Pontuação	26
4.1.6 A Interface do Sistema	27
4.2 Construção do Ambiente IoT	31
4.2.1 Dispositivos Sensitivos	32
4.2.2 Interação Sensores-Servidor	33
4.2.3 Localização do Ambiente IoT em Escala Reduzida	35
4.2.4 Comportamento Esperado	37
4.3 Dificuldades Encontradas	38
4.3.1 Localização dos Sensores	38
4.3.2 Servidor	38
4.3.3 Sistema Gerenciador de Bancos de Dados	39
5 Resultados	40
5.1 Prova de Conceito	40
5.1.1 Adição de Dispositivos no Ambiente IoT	40
5.1.2 Inspeção dos Dados Coletados	42
5.1.3 Simulação de Colaboração Por Um Usuário	43
5.1.4 Utilização do Sistema	46
5.2 Teste Comparativo	48
6 Conclusão	52
Referências	54

Lista de Figuras

2.1	Nova dimensão introduzida em comunicações (adaptado de [1]).	7
2.2	O paradigma Internet das Coisas como um resultado de diferentes visões (adaptado de [1]).	8
2.3	Visão geral técnica de IoT (adaptado de [2]).	9
2.4	Placa de desenvolvimento Raspberry Pi 0 W [3].	15
4.1	Esquema de funcionamento do sistema.	23
4.2	Esquema de participação dos usuários no sistema.	24
4.3	Diagrama Entidade Relacionamento.	25
4.4	Modelo Relacional implementado.	26
4.5	Página inicial do site.	28
4.6	Página principal do site.	29
4.7	Página de detalhes de um sensor.	30
4.8	Página com uma pergunta aleatória referente ao sensor.	30
4.9	Ferramenta de administração fornecida pelo Framework Django.	31
4.10	Esquema de montagem para os dispositivos sensitivos.	32
4.11	Fluxograma do funcionamento básico de um dispositivo sensitivo construído.	33
4.12	Formato genérico para a mensagem JSON.	34
4.13	Exemplo de uma mensagem inicial em formato JSON.	35
4.14	Exemplo de uma mensagem subsequente à mensagem inicial em formato JSON.	35
4.15	Planta baixa do ambiente escolhido para teste em escala reduzida. Os pontos em que os sensores foram instalados estão indicados em vermelho. .	36
4.16	Sensor e QR-Code.	37
5.1	Novo dispositivo sensitivo construído.	41
5.2	Novo dispositivo sensitivo adicionado ao sistema.	42
5.3	Acesso ao banco de dados via SSH.	42
5.4	Registros de sensor em um período de dez minutos.	43
5.5	QR-Codes localizados próximos aos sensores.	44

5.6	Exemplo de pergunta apresentada ao colaborador.	45
5.7	Exemplo de um conjunto de respostas possíveis apresentadas ao colaborador.	45
5.8	Respostas enviadas pelo usuário colaborador.	45
5.9	Lista de dispositivos.	46
5.10	Últimas leituras e pontuação do sensor.	47
5.11	Gráficos com a média das leituras das últimas 24 horas.	47
5.12	Gráficos com a média histórica das leituras.	48

Lista de Tabelas

5.1 Tabela que representa a disponibilidade dos sensores.	49
5.2 Tabela que representa a produtividade dos sensores.	49
5.3 Tabela que representa a OEE dos sensores.	50
5.4 Tabela que representa a comparação entre OEE dos sensores e a pontuação calculada pelo sistema.	51

Lista de Abreviaturas e Siglas

DER Diagrama Entidade Relacionamento.

IoT Internet das Coisas.

ITU International Telecommunication Union.

OEE Overall Equipment Effectiveness.

RFID Identificação por Radio Frequênciā.

RSSF Redes de Sensores Sem Fio.

SensorML Linguagem de Modelagem de Sensores.

SGBD Sistema Gerenciador de Bancos de Dados.

SSH Secure SHell.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

O avanço de inúmeras tecnologias incluindo sensores, atuadores, computação em nuvem e o despontamento de equipamentos com capacidade de conexão com a Internet tem colaborado com a necessidade pela interoperabilidade entre diversas classes de dispositivos.

A Internet das Coisas, do inglês *Internet of things* (IoT), consiste na interconexão de dispositivos sensitivos e atuadores com a finalidade de atingir um objetivo em comum [4] e tem como objetivo primário permitir que humanos e máquinas compreendam melhor o ambiente que os envolve, usando as informações geradas por diversos dispositivos sensitivos, modificando a forma com que os usuários lidam com as tarefas do cotidiano [1]. IoT é um novo paradigma tecnológico planejado para ser uma rede global de máquinas e dispositivos capazes de interagir entre si e com o ambiente ao seu redor. A IoT é reconhecida como uma das áreas mais importantes da tecnologia do futuro por enfatizar a interoperabilidade entre objetos e pessoas e pelo fato de poder ser implementada em diversos casos de uso, como por exemplo, automação predial, controle de processos produtivos e transporte inteligente [5].

A estimativa do Conselho Nacional de Inteligência norte americano é de que, até 2025, objetos do cotidiano como embalagens de alimentos, mobília e documentos poderão estar conectados à Internet [6]. Considerando-se que haverá uma grande variedade de tipos de equipamentos com a necessidade de interoperabilidade mencionada anteriormente, é possível afirmar que uma enorme quantidade destes estarão interconectados. Neste contexto, é esperado que a quantidade de dados seja superior ao número de dispositivos, em uma ordem de grandeza ainda maior.

Estes dados, se utilizados de forma correta, considerando os contextos específicos e o nível de qualidade dessas informações, poderão contribuir muito para avanços em pesquisas e na melhoria da qualidade de serviços. Para que tal objetivo seja atingido, alguns

autores propuseram que os usuários, de forma colaborativa, possam contribuir com informações de metadados para o sistema de maneira a reduzir o problema da dinamicidade relacionada a IoT [7].

Ao estudar a qualidade do equipamento que coleta os dados em um ambiente, estuda-se, indiretamente, a qualidade do dado gerado, visto que é necessário validar o equipamento anteriormente à confirmação da qualidade do dado produzido.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é desenvolver o sistema SenseHera, um sistema colaborativo que armazene, gerencie e avalie a qualidade dos sensores utilizados em um ambiente de Internet das Coisas, levando em consideração os dados coletados pelos dispositivos e as informações fornecidas pelos colaboradores, em termos de sua regularidade e disponibilidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para a realização do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos:

- Desenvolver um ambiente IoT em escala reduzida para teste de conceito;
- Desenvolver o SenseHera, um sistema web para aquisição, armazenamento e acesso das informações geradas pelos sensores;
- Desenvolver um módulo que realize a avaliação de qualidade de sensores, a partir dos dados coletados pelos dispositivos e das informações fornecidas pelos colaboradores, em termos de sua regularidade e disponibilidade.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é composto pelos seguintes capítulos:

- Capítulo 1 - Introdução: apresentação do contexto e dos objetivos do trabalho.

- Capítulo 2 - Fundamentação Teórica: apresentação dos conceitos necessários para a compreensão do trabalho.
- Capítulo 3 - Revisão da Literatura: apresentação da metodologia utilizada para obtenção da literatura que orientou o trabalho.
- Capítulo 4 - Sistema SenseHera: apresentação do funcionamento do sistema construído, bem como seus requisitos e características.
- Capítulo 5 - Resultados: apresentação da prova de conceito do sistema SenseHera e comparação da métrica utilizada pelo sistema proposto com a métrica *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), amplamente utilizada na indústria para verificação de qualidade de equipamentos.
- Capítulo 6 - Conclusão: apresentação das conclusões advindas dos resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta o referencial teórico necessário para o desenvolvimento e compreensão deste projeto final. A Seção 2.1 trata de sistemas colaborativos, a Seção 2.2 apresenta informações sobre o domínio da Internet das Coisas (IoT), a Seção 2.3 trata sobre dados no domínio de IoT, a Seção 2.4 trata da qualidade de dados e equipamentos e a Seção 2.5 apresenta as plataformas utilizadas para construção do projeto.

2.1 Sistemas Colaborativos

A colaboração é um ponto central para qualquer comportamento inteligente. Atividades que envolvem colaboração permeiam praticamente todas as áreas da sociedade; estas atividades variam desde operações coordenadas, bem planejadas, como em times de esportes e grupos musicais até colaborações espontâneas entre pessoas que percebem a necessidade de resolver problemas em conjunto. Tomando como exemplo a colaboração para a produção do conhecimento científico, esta ocorre em vários níveis: entre pessoas ou até mesmo entre diversas áreas da ciência [8].

2.1.1 Colaboração versus Interação

Segundo o dicionário Aurélio [9], tem-se as seguintes definições:

- **Colaboração:**

1. *Trabalho feito em comum com um ou mais indivíduos;*

2. Trabalho, ideia, doação etc. que contribui para a realização de algo ou para ajudar alguém.

- **Interação:**

1. *Ação mútua entre dois ou mais corpos ou indivíduos;*
2. *Comunicação entre indivíduos.*

A partir dessas definições, é possível concluir que a colaboração consiste na união dos esforços para a obtenção de um objetivo comum desejado por todos os indivíduos envolvidos, enquanto na interação não há, necessariamente, a presença de um objetivo comum entre os atores, tão pouco a união de esforços.

Para a autora Barbara Grosz [8], a colaboração, além de ser uma união de esforços para um objetivo comum, precisa, também, ser projetada desde o início da resolução, não podendo ser apenas inserida durante o processo, visto que é necessária a participação de todos os indivíduos para a modelagem do problema e, por consequência, a modelagem e execução da resolução.

Sistemas computacionais colaborativos são projetados para transformar um computador em algo mais complexo e útil do que apenas uma ferramenta. Para atingir o objetivo desejado pela comunidade de usuários desses sistemas, seus integrantes devem auxiliar no povoamento de dados, tornando o sistema mais inteligente, e, por sua vez, conseguindo produzir informações mais consistentes e relevantes para os usuários [8].

2.2 Internet das Coisas

A Internet das Coisas é uma nova abordagem tecnológica idealizada como uma conexão global de máquinas e dispositivos capazes de interagir e até colaborar entre si. Em um ambiente IoT vários objetos do cotidiano trocam informações ou colaboram, por meio da internet, para serem mais eficientes e realizarem diversas tarefas. Os objetos passam a agir de forma sensorial, de modo a favorecer diversos setores como: indústria, hospitais, agropecuária, transporte público, entre muitos outros. A partir desta elevada disponibilidade de recursos, a IoT é reconhecida como uma das áreas tecnológicas mais importantes do futuro e está recebendo, cada vez mais, atenção de desenvolvedores, usuários, governos e indústrias [4].

Um dos principais objetivos da Internet das Coisas é permitir que humanos e máquinas aumentem sua capacidade de perceber, discriminar e avaliar dados e informações dos ambientes ao seu redor [1]. Esse melhor entendimento do seu ambiente torna-se viável por meio da utilização de diversos tipos de dispositivos sensitivos (sensores) para a aquisição de dados e, após a percepção e a interpretação de seu ambiente, é possível a realização de intervenções por meio de dispositivos atuadores [5].

A IoT inseriu uma nova dimensão na comunicação, que não ocorre apenas a qualquer momento e em qualquer lugar, mas, também, pode ser realizada por qualquer objeto com capacidade comunicativa, conforme mostra a Figura 2.1. Como pode ser observado, a comunicação pode ser realizada a qualquer momento, como por exemplo, à noite ou durante o dia; por qualquer agente, como um computador, um equipamento ou um usuário humano; e em qualquer lugar, como por exemplo, ao ar livre ou dentro de prédios.

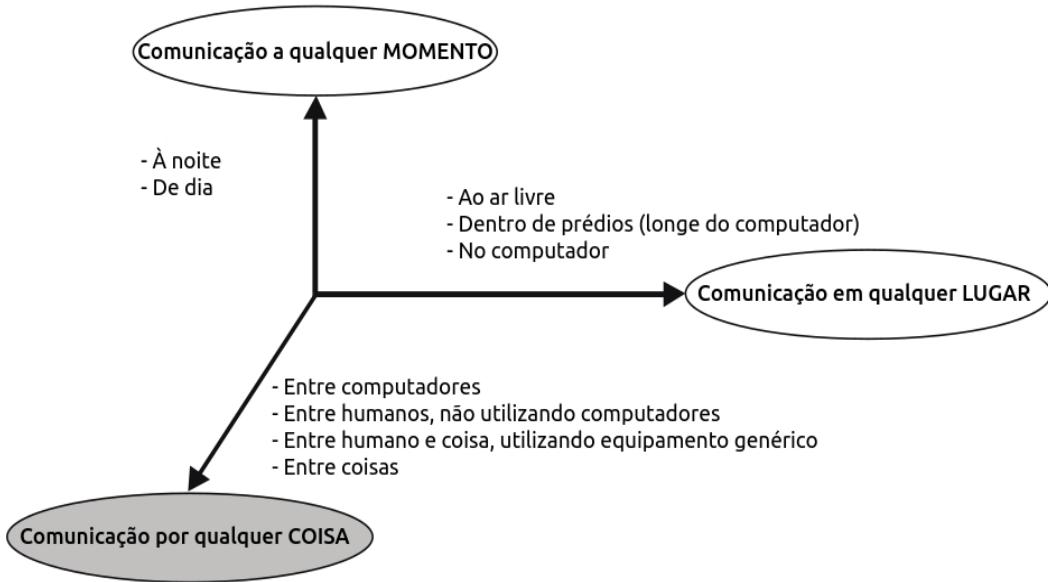


Figura 2.1: Nova dimensão introduzida em comunicações (adaptado de [1]).

A Internet das Coisas surgiu a partir de um conjunto de diferentes visões, como é possível observar na Figura 2.2, cada qual com seus objetivos específicos. A IoT pode ser definida como a intersecção entre a visão orientada a coisas, que trata, por exemplo, sobre objetos do dia a dia, dispositivos sensitivos e atuadores, a visão orientada à internet, que envolve tecnologias como por exemplo, IP para objetos inteligentes e Web das Coisas e a visão orientada à semântica, que trata, por exemplo, da racionalização de dados e tecnologias semânticas.



Figura 2.2: O paradigma Internet das Coisas como um resultado de diferentes visões (adaptado de [1]).

2.2.1 Definição de Internet das Coisas

Em 2012, a *International Telecommunication Union* (ITU) realizou estudos sobre infraestrutura de informação global, aspectos de protocolos de internet e redes da próxima geração. A partir desse estudo foi construída a recomendação ITU-T Y.2060 [2] que trata sobre a Internet das Coisas e possui o intuito de definir seus conceito e escopo, identificar suas características fundamentais e seus requerimentos de alto-nível.

No documento produzido pela ITU, foram consolidadas as seguintes definições [2]:

- Internet das Coisas é "uma infraestrutura global para a Sociedade de Informações, permitindo serviços avançados ao interconectar (fisicamente e virtualmente) coisas devido à existência e evolução da interoperabilidade de tecnologias de comunicação e informação"(tradução livre);

- Dispositivo, no contexto de IoT, é um equipamento que, obrigatoriamente, possui a capacidade de comunicação e, opcionalmente, possui capacidade de sensitividade, atuação, captura de dados, armazenamento de dados e/ou processamento de dados;
- Coisas, no contexto de IoT, são "objetos no mundo físico (objetos físicos) ou no mundo das informações (objetos virtuais), os quais são capazes de serem identificados e integrados a uma rede de comunicações" (tradução livre). Conforme mostra a Figura 2.3, dispositivos comunicam-se entre si e objetos físicos, relacionados aos dispositivos, mapeam as informações coletadas em objetos virtuais. Objetos físicos podem sentir, atuar e conectar, ao passo que objetos virtuais podem ser armazenados, processados e acessados.

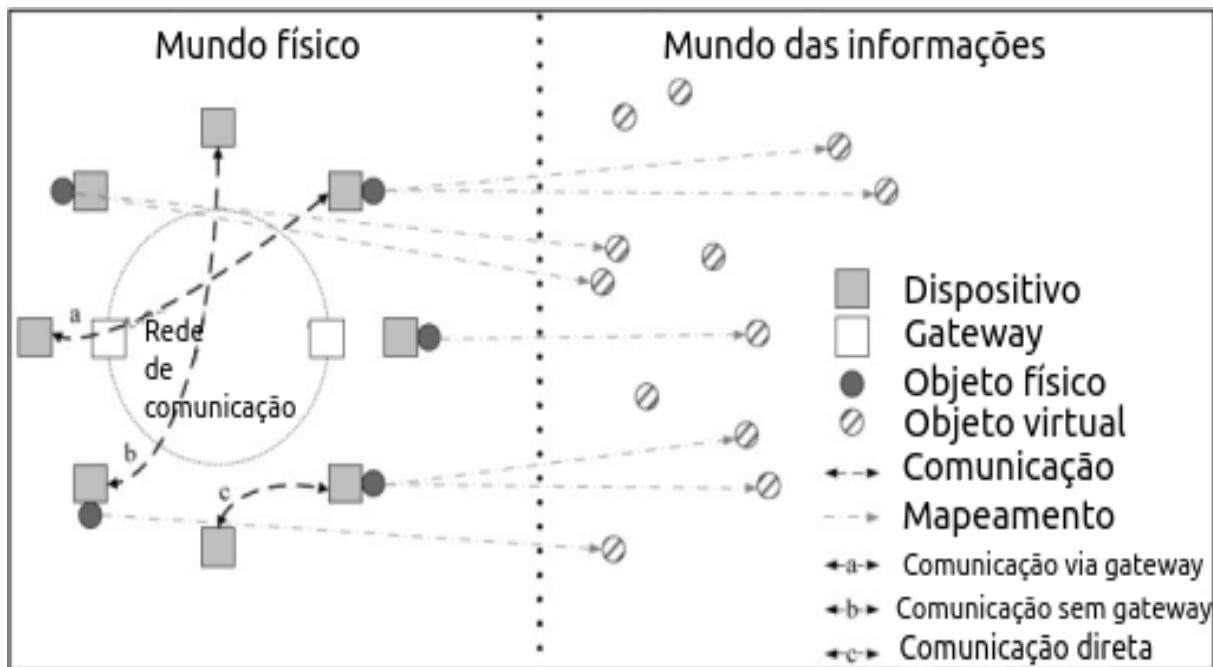


Figura 2.3: Visão geral técnica de IoT (adaptado de [2]).

2.2.2 Tecnologias Essenciais

Em geral, para que sistemas ou produtos baseados em Internet das Coisas possam ser bem sucedidos em grande escala, é necessário que algumas tecnologias sejam implementadas nessa rede [10]:

- Identificação por Radio Frequênciia (RFID): esta tecnologia permite identificação automática e captura de informação por meio de rádio frequência. Os dispositivos RFID são divididos em duas grandes categorias: ativos e passivos. Os ativos

dependem de uma fonte de energia constante para manter a informação ativa e para transmiti-la. Dispositivos passivos não necessitam de alimentação constante de energia. Estes funcionam a partir de sua energização por meio de um campo eletromagnético [11].

- Redes de Sensores Sem Fio (RSSF): esta tecnologia consiste na distribuição de dispositivos sensitivos autônomos para monitorar parâmetros físicos ou ambientais e podem cooperar com sistemas RFID para adquirir dados de forma mais eficaz, tais como localização, temperatura e movimentação [1].
- *Middleware*: o *middleware* é a camada de abstração entre aplicações de software utilizada para auxiliar o trabalho dos desenvolvedores no que toca à comunicação entre softwares e operações de recebimento e envio de dados. Seu objetivo, no contexto de IoT, é simplificar a integração entre dispositivos heterogêneos e a camada de aplicação [12].
- Computação em nuvem: computação em nuvem é um modelo para acesso de recursos compartilhados conforme a necessidade de escalabilidade de um serviço. Um dos resultados mais característicos da IoT é a enorme quantidade de dados gerados por dispositivos conectados à Internet [5]. A computação em nuvem é importante para o contexto de Internet das Coisas ao permitir um ambiente com alta adaptabilidade ao processamento de elevada quantidade de dados.
- Aplicações de software: aplicações IoT permitem interações e colaborações dispositivo-dispositivo e humano-dispositivo de uma forma confiável e robusta. As aplicações nos dispositivos devem garantir que as informações sejam recebidas e processadas de maneira adequada, no momento oportuno [13].

2.2.3 Desafios da Internet das Coisas

A Internet das Coisas possui diversos desafios conhecidos devido à sua própria concepção. Essas dificuldades devem ser superadas para que a IoT possa ser devidamente implementada e amplamente utilizada. Alguns fatores críticos podem ser elencados [14]:

- Infraestrutura de rede: o custo se eleva a partir da complexidade da infraestrutura para interconectar os dispositivos. Para uma grande rede de sensores é necessário o desdobramento da respectiva infraestrutura: cabeamento, equipamentos de gerenciamento de redes, redes sem fio e contratação dos canais de comunicação, entre outros.

- Segurança: um dos principais desafios, em um ambiente de Internet das Coisas, é a manutenção de uma adequada segurança dos dados que são coletados pela grande quantidade de dispositivos sensitivos da rede. Uma invasão de um sistema crítico pode causar consequências graves em determinados ambientes automatizados.
- Espaço de armazenamento: ao longo do tempo, um ambiente IoT pode gerar uma grande quantidade de dados. A exemplo disso, um sistema de uma cidade inteligente que possui 10.000 sensores de diversas categorias, cada um deles gerando uma mensagem de 10 kB a cada 5 minutos, produz, por dia, um total de aproximadamente 29 GB de dados. Após um ano, esse sistema produziria, aproximadamente, 10,5 TB de dados apenas para esta cidade.
- Consumo de energia: é imperativo que o consumo de energia dos dispositivos sensitivos seja o menor possível. Em muitos cenários é improvável a presença de uma rede de energia elétrica e até mesmo sua constante manutenção. Então, os equipamentos devem ter a capacidade de manter sua funcionalidade por meio do uso baterias por uma quantidade de tempo considerável.

2.3 Dados

Uma rede Internet das Coisas tem como objetivo a compreensão do ambiente em que está situado por meio das informações geradas por diversos sensores. Este entendimento é baseado em três tipos de dados [15]:

- Dados gerados pelos dispositivos;
- Dados que descrevem os dispositivos;
- Dados que descrevem o ambiente.

Normalmente, os dispositivos IoT tem sua semântica descrita em termos de suas capacidades sensitivas. A semântica do ambiente é determinada de acordo com o domínio da aplicação [16]. Consequentemente, modelos de suporte à decisão são construídos baseados nos metadados que descrevem os dispositivos e seu ambiente.

Os esforços de pesquisa em Internet das Coisas estão principalmente focados nos desafios de interoperabilidade, escalabilidade e integração entre dispositivos heterogêneos [16]. Entretanto, existe um desafio pouco explorado em lidar com o dinamismo dos metadados em IoT [7].

2.3.1 Metadados

Metadados são as principais ferramentas para descrever e gerenciar recursos de informações dinâmicos, como os dados contidos na Rede Mundial de Computadores, a *World Wide Web* (WWW).

Princípios

Os seguintes princípios são considerados básicos para o desenvolvimento de soluções práticas em desafios de semântica e interoperabilidade de dispositivos em qualquer domínio e em qualquer conjunto de metadados [17]:

- Modularidade: a modularidade de metadados é um princípio chave para a organização de ambientes caracterizados pela diversidade de fontes e estilos de conteúdo. A modularidade permite que projetistas criem novos esquemas de metadados baseados em projetos já existentes e se beneficiem de boas práticas já observadas. Em um ambiente com metadados modulares, elementos de informação de diferentes esquemas podem ser combinados de forma interoperável, tanto sintaticamente quanto semanticamente.
- Flexibilidade: sistemas de metadados precisam ser flexíveis para acomodar as particularidades de uma determinada aplicação. Arquiteturas de metadados devem se adequar facilmente à noção de um esquema base aliado a elementos adicionais necessários para uma aplicação local, ou a um domínio específico sem comprometer a interoperabilidade proporcionada pelo esquema base.
- Refinamento: o nível de detalhamento necessário para cada domínio de aplicação pode variar consideravelmente. Para evitar custos desnecessários com armazenamento e processamento, o desenvolvimento dos padrões de metadados devem permitir que os projetistas escolham o nível de detalhamento apropriado para uma dada aplicação.
- Multilinguismo: o multilinguismo é essencial ao adotar arquiteturas de metadados que respeitem a diversidade linguística e cultural. Por ter a possibilidade de conectar sistemas de diversas partes do planeta, é importante que a comunicação dos metadados respeite requisitos gerais de linguagem e formatação.

2.3.2 Metadados de Sensores

Denominam-se metadados de sensor o modelo que descreve o dispositivo sensitivo e suas capacidades, como por exemplo [18]:

- Modelo;
- Localização;
- Unidade de medida utilizada;
- Grau de confiabilidade.

A Linguagem de Modelagem de Sensores (SensorML) [18] é uma coleção de padrões desenvolvida para representar informações de sensores em formato XML, apesar de sua formatação obsoleta, os princípios utilizados para sua criação podem ser levados em consideração na utilização de outros padrões. Os propósitos da SensorML incluem:

- Prover descrições de sensores e sistemas de sensores para gerenciamento de inventário;
- Providenciar informação sobre o sensor e sobre o processamento;
- Auxiliar o processamento e análise de dados coletados por sensores;
- Suportar informações de geolocalização de valores coletados;
- Fornecer informações de desempenho;
- Providenciar uma descrição explícita sobre o processo em que os dados foram obtidos;
- Prover uma cadeia de processos executáveis para derivar novos produtos de informação;
- Arquivar propriedades fundamentais e suposições sobre os sistemas de sensores.

2.4 Qualidade

Em ambientes IoT as informações geradas são heterogêneas bem como suas fontes heterogêneas (diferentes classes e tipos de sensores), as quais não necessariamente são conhecidas ou podem ser auditadas [19]. O aumento no volume de informações geradas por ambientes IoT causa uma preocupação com a qualidade dos dados coletados para que decisões mais acertivas possam ser tomadas por sistemas autônomos.

Dados de alta qualidade são caracterizados pela consistência; se as informações geradas por fontes novas podem ser consideradas consistentes com as informações coletadas por fontes já verificadas, então os novos dados podem ser considerados de alta qualidade [19].

No contexto industrial, a qualidade de um equipamento é geralmente calculada por meio da ferramenta *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), criada em 1988 no Japão.

Essa métrica utiliza os conceitos de Produtividade, Qualidade e Disponibilidade de um equipamento para definir sua qualidade geral. A qualidade geral, por sua vez, pode ser utilizada para se obter o nível de confiança de um dado equipamento, tomar decisões sobre substituição de equipamentos ou realizar mudanças no processo produtivo [20].

2.5 Plataforma de Hardware

Este projeto inclui o desenvolvimento de hardware (na montagem dos sensores) e software (na construção do sistema colaborativo).

A plataforma de hardware escolhida para a implementação do ambiente Internet das Coisas, deste trabalho, é a placa Raspberry Pi 0 W. Para a implementação do servidor do sistema foi utilizado um serviço online da Amazon [21].

2.5.1 Histórico

Fundada em 2009 por David Braben, Jack Lang, Pete Lomas, Alan Mycroft, Robert Mullins e Eben Upton, com o apoio do Laboratório de computadores da Universidade de Cambridge e a empresa Broadcom, a Fundação Raspberry Pi tem como objetivo promover e estudar a ciência da computação e assuntos correlatos, especialmente em nível escolar.

Segundo a Fundação Raspberry Pi [22], a organização "é uma instituição de caridade sediada no Reino Unido que trabalha para o empoderamento digital de pessoas ao redor do mundo, de forma a torná-las capazes de entender e dar forma ao mundo digital. Desvendando as soluções para os problemas que as afigem e estando, também, capazes para os empregos do futuro" (tradução livre).

Em 2011, a Fundação desenvolveu seu primeiro computador em placa única, nomeado Raspberry Pi. A meta seria vender estas placas de desenvolvimento em duas versões, custando 25 dólares a versão mais simples e 35 dólares a versão mais elaborada. A versão mais complexa começou a ser vendida em 29 de Fevereiro de 2012. O Raspberry Pi foi criado para estimular o estudo da ciência da computação em escolas [22].

2.5.2 Características de Hardware

A placa escolhida para a montagem dos sensores do trabalho e o servidor contratado possuem semelhanças e diferenças em suas características, como descrito nos tópicos a seguir:

- Servidor Amazon Lightsail [21]:
 - Processador de um núcleo;

- 512MB de memória RAM;
- 20 GB de SSD de armazenamento.
- Raspberry Pi 0 W (Figura 2.4):
 - Tamanho: 66mm x 30,5mm;
 - Processador ARM em clock de 1GHz;
 - 512MB de memória RAM;
 - 40 pinos GPIO;
 - 1 porta micro USB 2.0;
 - 2.4GHz 802.11n wireless LAN;
 - Bluetooth Classic 4.1 e Bluetooth LE.

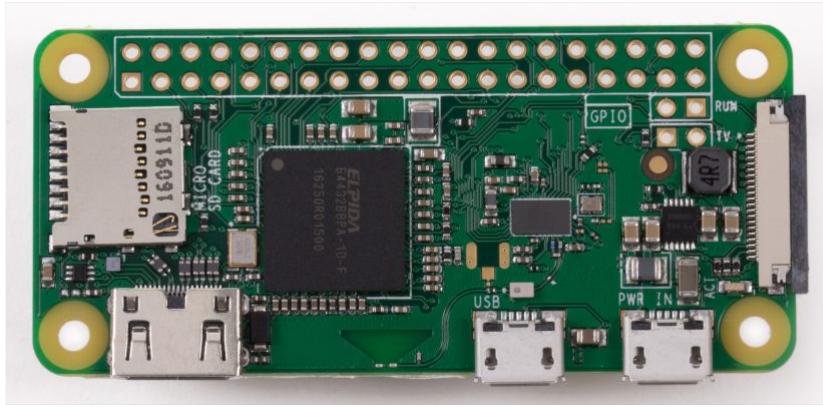


Figura 2.4: Placa de desenvolvimento Raspberry Pi 0 W [3].

2.5.3 Características de Software

Em todos os sensores foi utilizado o sistema Raspbian Stretch Lite na última versão disponível ao momento do desenvolvimento do projeto (lançada em 27 de Junho de 2018). Este sistema operacional, baseado na distribuição linux Debian, é a versão recomendada pelo fabricante para todas as placas Raspberry Pi presentes no mercado.

Para o desenvolvimento deste projeto foi contratado um servidor Amazon Lightsail [21], nesta máquina virtual, foi instalado o sistema operacional Ubuntu 18.04. É utilizado o gerenciador de requisições HTTP Apache e o *framework* Django.

O Django é um *framework* para desenvolvimento web baseado na linguagem Python; segundo seus desenvolvedores, é uma ferramenta que facilita o desenvolvimento ao simplificar as tarefas necessárias para assegurar o funcionamento online, segurança e escalabilidade [23].

Capítulo 3

Revisão da Literatura

Este capítulo descreve os métodos utilizados para a aquisição da bibliografia utilizada. Foi definido um processo baseado no método de revisão sistemática definido por Barbara Kitchenham e Stuart Charters em 2007 [24], apenas para que fosse seguido um protocolo para a aquisição de referências bibliográficas. Esta revisão consiste em três fases:

- Planejar;
- Executar;
- Documentar.

A fase de planejamento constitui-se na especificação do protocolo. A fase de execução representa a coleta dos dados de forma a atender as especificações exigidas na fase de planejamento. A etapa de documentação foi a própria escrita deste capítulo.

3.1 Planejamento

O objetivo desta revisão sistemática é a identificação de trabalhos acadêmicos que expõem resultados, projeções, explicações ou elucidações sobre o tema de armazenamento ou gerenciamento de metadados para Internet das Coisas de forma colaborativa ou não, com o propósito de que haja uma metodologia durante a construção das referências do presente trabalho.

3.1.1 Questões de Estudo

Esta revisão tem como objetivo responder às seguintes questões:

- Há estudos sobre o armazenamento e gerenciamento de metadados para Internet das Coisas?

- Quais são os métodos mais utilizados para o armazenamento e gerenciamento de metadados para IoT?
- Há estudos sobre a utilização de abordagens colaborativas em Internet das Coisas?
- Em quais aplicações os metadados estão sendo utilizados nos trabalhos?

3.1.2 Estratégia de Busca

Foi determinada uma estratégia para a realização das buscas nas bases de dados escolhidas conforme a seguir:

Definição da *String* de Busca

- **População:** Utilizou-se como tema principal metadados para IoT. Para procurar, foram utilizadas as palavras-chave 'Internet of things metadata', 'IoT metadata' e 'Collaborative IoT';
- **Intervenção:** O foco é verificar *middlewares*, modelos e esquemas. Os termos utilizados para pesquisa foram 'middleware', 'management', 'model' e 'schema';
- **Comparação:** O foco deste trabalho não se limitou a estudos comparativos;
- **Resultado:** Tem-se como objetivo a procura de avaliações, definições, validações e implementações de middlewares e/ou esquemas utilizados em pesquisas científicas. Desta forma, foram obtidas as seguintes palavras-chave 'validation', 'evaluation' e 'implementation'.

A *string* de busca gerada é a seguinte: (('Internet of things metadata') **OR** ('IoT metadata') **OR** ('Collaborative IoT')) **AND** (('middleware') **OR** ('schema') **OR** ('management') **OR** ('model')) **AND** (('validation') **OR** ('evaluation') **OR** ('implementation'))

Fontes de Busca

Foram escolhidas as seguintes bases digitais para que as buscas fossem realizadas:

- Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>)
- JSTOR (<https://www.jstor.org/>)
- Periódicos CAPES (<https://www.periodicos.capes.gov.br/>)

Bases escolhidas devido a sua relevância e sua grande abrangência sobre diversos temas.

Idioma

O idioma de preferência para seleção de artigos foi a língua inglesa, entretanto, trabalhos científicos escritos em língua portuguesa não foram descartados, desde que atingissem os requisitos para inclusão.

Seleção dos Estudos

Critérios de Inclusão e Exclusão

Critérios de Inclusão

- O texto integral dos trabalhos devem estar disponíveis nas bases de dados escolhidas previamente;
- Serão consideradas apenas as publicações posteriores à 2008 (dez anos antes do início do projeto), salvo em casos de fontes relevantes que contenham definições necessárias para a realização deste trabalho;
- O trabalho deve fazer menção a "metadados em ambientes Internet das Coisas".

Critérios de Exclusão

- Trabalhos publicados anteriormente à 2008, exceto fontes relevantes que contenham definições pertinentes para este estudo;
- Trabalhos parcialmente disponíveis nas bases de dados digitais escolhidas;
- Publicações cujo texto não trate do tema "metadados em ambientes IoT";
- Trabalhos que não contenham propostas, comparações ou avaliações de métodos para o gerenciamento ou armazenamento de metadados;
- Trabalhos publicados em múltiplas bases de dados. O trabalho será contado apenas uma vez.

3.2 Execução

3.2.1 Processo de Seleção dos Estudos

Os artigos obtidos por meio da estratégia descrita passaram por um processo de avaliação metódica, com base nos critérios anteriormente especificados. Desta forma, os artigos que atingiram os parâmetros estabelecidos foram adicionados à base de estudos da revisão sistemática. A estratégia para a pesquisa e seleção foi:

1. Pesquisa de trabalhos científicos nas bases de dados definidas utilizando as *strings* de busca;
2. Leitura do título, resumo, palavras chave e data de publicação, aplicando os critérios de inclusão e exclusão definidos;
3. Leitura da introdução e conclusão dos trabalhos que foram mantidos na fase anterior;
4. Os trabalhos resultantes serão lidos por completo, e as informações pertinentes serão coletadas.

3.2.2 Resultado da Seleção de Estudos

Fase I - Total de estudos obtidos

Utilizando todas as combinações possíveis da *string* de busca foram encontrados as seguintes quantidades de estudos sobre o tema:

- Google Acadêmico - 40 estudos;
- JSTOR - 3 estudos;
- Periódicos CAPES - 25 estudos.

Fase II - Estudos que possuem relação com o tema

Nesta fase realizou-se a leitura do título, resumo, palavras chave e identificação da data de publicação. Aplicados os critérios estabelecidos, foi obtido o seguinte resultado:

- Google Acadêmico - 24 estudos;
- JSTOR - 3 estudos;
- Periódicos CAPES - 13 estudos.

Fase III - Estudos que possuem relação com o tema

Os artigos coletados passaram pela leitura da introdução e conclusão. Aplicados os critérios dessa fase, o seguinte resultado foi obtido:

- Google Acadêmico - 12 estudos;
- JSTOR - 1 estudo;
- Periódicos CAPES - 7 estudos.

Fase IV - Leitura dos Estudos

O material que passou pela seleção das fases II e III foi lido integralmente e as informações pertinentes foram incluídas nas seções adequadas.

Respostas às Questões de Estudo

- Há estudos sobre o armazenamento de metadados para Internet das Coisas?
 - *Existem estudos sobre o armazenamento de metadados para IoT; entretanto, 4 deles tratam sobre este tema específico, representando um total de, aproximadamente, 20% dos artigos considerados úteis para o trabalho [25] [26] [27] [28].*
- Quais são os métodos mais utilizados para o armazenamento de metadados para IoT?
 - *Foi descoberto que não há um consenso sobre o método de armazenamento de metadados IoT. Cada estudo introduz um método diferente [25] [26] [27] [28].*
- Há estudos sobre a utilização de abordagens colaborativas em Internet das Coisas?
 - *Há apenas um estudo que utiliza abordagens colaborativas para a obtenção de metadados para IoT [7].*
- Em quais aplicações os metadados estão sendo utilizados nos trabalhos?
 - *As smart buildings (construções inteligentes) foram as principais aplicações em que os metadados são utilizados em IoT [7] [29].*

3.3 Conclusão da Revisão da Literatura

Após a utilização da *string* de busca e das fases II e III, foi obtido um total de 20 estudos significativos, ou seja, 29% do total de estudos coletados.

Capítulo 4

Sistema SenseHera

Este capítulo trata sobre a implementação do sistema SenseHera e dos componentes necessários para seu funcionamento. A Seção 4.1 descreve o desenvolvimento do sistema, a Seção 4.2 refere-se à construção do ambiente IoT em escala reduzida e a Seção 4.3 trata das dificuldades encontradas durante a execução do trabalho.

4.1 Desenvolvimento do Sistema SenseHera

O propósito do SenseHera é a gestão das informações produzidas pelos sensores conectados ao ambiente IoT no qual o sistema está inserido, agir como intermediário entre os usuários e os dados, possibilitando a colaboração dos usuários com informações sobre fatos e sensações do ambiente. E, a partir dos dados coletados pelos sensores e fornecidos pelos usuários, produzir uma noção de qualidade dos sensores.

4.1.1 Requisitos

Para elaboração dos requisitos foram utilizados os conhecimentos obtidos com a leitura de diversos artigos científicos sobre o tema de Internet das Coisas, levando-se em consideração os desafios listados na Seção 2.2.3 e os objetivos traçados na Seção 1.2. Os requisitos que guiaram a construção do sistema estão elencados na lista a seguir:

- Funcionar em ambientes de baixa capacidade computacional;
- Armazenar informações coletadas por sensores;
- Apresentar as informações dos sensores de forma simplificada ao usuário;
- Escalabilidade e facilidade para adição de sensores;

- Permitir o envio de informações sobre fatos e sensações do ambiente pelo usuário;
- Baseado nos dados coletados pelos sensores e informações enviadas pelos usuários, calcular uma nota para os dispositivos sensitivos, gerando uma noção de qualidade.

4.1.2 Funcionamento

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram, de forma simplificada, o funcionamento do sistema. Na Figura 4.1, a interação I consiste nas seguintes fases:

- O sensor envia mensagens em formato JSON dos dados coletados para o servidor para que sejam armazenados;
- O servidor envia o código identificador referente ao sensor ao dispositivo sensitivo.

Já a interação II possui as seguintes componentes:

- Acesso dos usuários às informações armazenadas e/ou processadas no sistema;
- Disponibilização de perguntas a serem respondidas pelos usuários;
- Envio das percepções e sensações do usuário sobre o ambiente para o servidor.

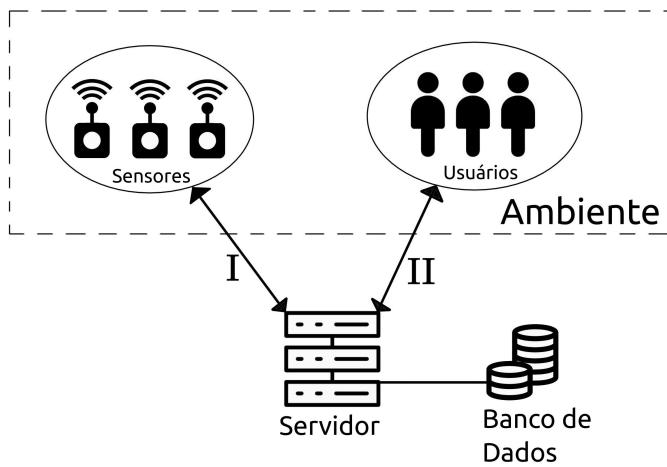


Figura 4.1: Esquema de funcionamento do sistema.

A Figura 4.2 indica a forma em que o usuário pode auxiliar com informações importantes sobre suas percepções e sobre o ambiente, fornecendo uma contextualização para o sistema. A contextualização pode ser espacial, quando trata-se de uma observação do ambiente por parte do usuário, ou psicológica, quando se trata de uma sensação do colaborador. Como por exemplo:

- Quantidade de aberturas;
- Fontes de calor;
- Percepções de frio e calor;
- Noções sobre conforto.

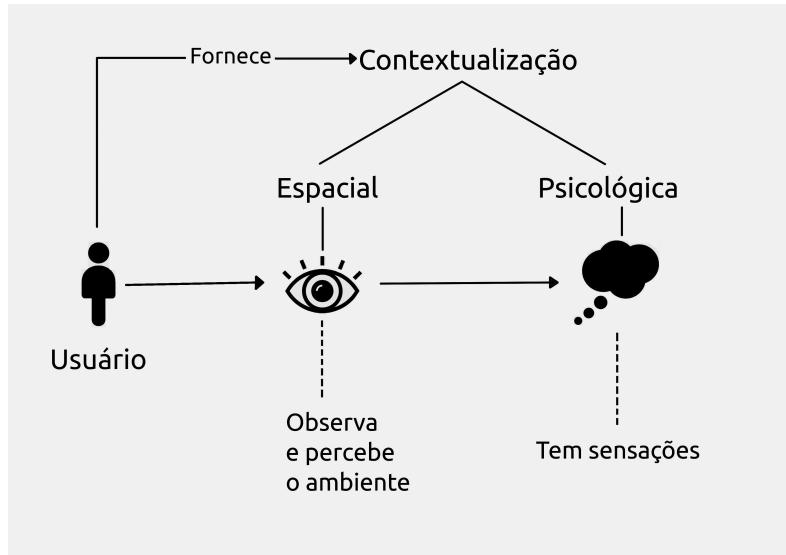


Figura 4.2: Esquema de participação dos usuários no sistema.

4.1.3 Servidor

Foi contratado um serviço online de baixo custo (Amazon Lightsail [21]) para o funcionamento do sistema; a máquina virtual utilizada possui as seguintes características:

- Processador de um núcleo;
- 512MB de memória RAM;
- 20 GB de SSD de armazenamento.

Nessa máquina virtual foram instalados os componentes necessários para a realização do trabalho, como por exemplo:

- Ubuntu 18.0;
- Python 2.7;
- Framework Django;
- PostgreSQL;
- Servidor Apache;
- Git.

4.1.4 Banco de Dados

O banco de dados relacional desenvolvido segue o Diagrama Entidade Relacionamento (DER) da Figura 4.3 e foi implementado no Sistema Gerenciador de Bancos de Dados (SGBD) PostgreSQL por ser um software livre e com capacidade para lidar com o volume de dados produzido pelo ambiente IoT em que o sistema SenseHera está inserido. A Figura 4.4 mostra o Modelo Relacional implementado.

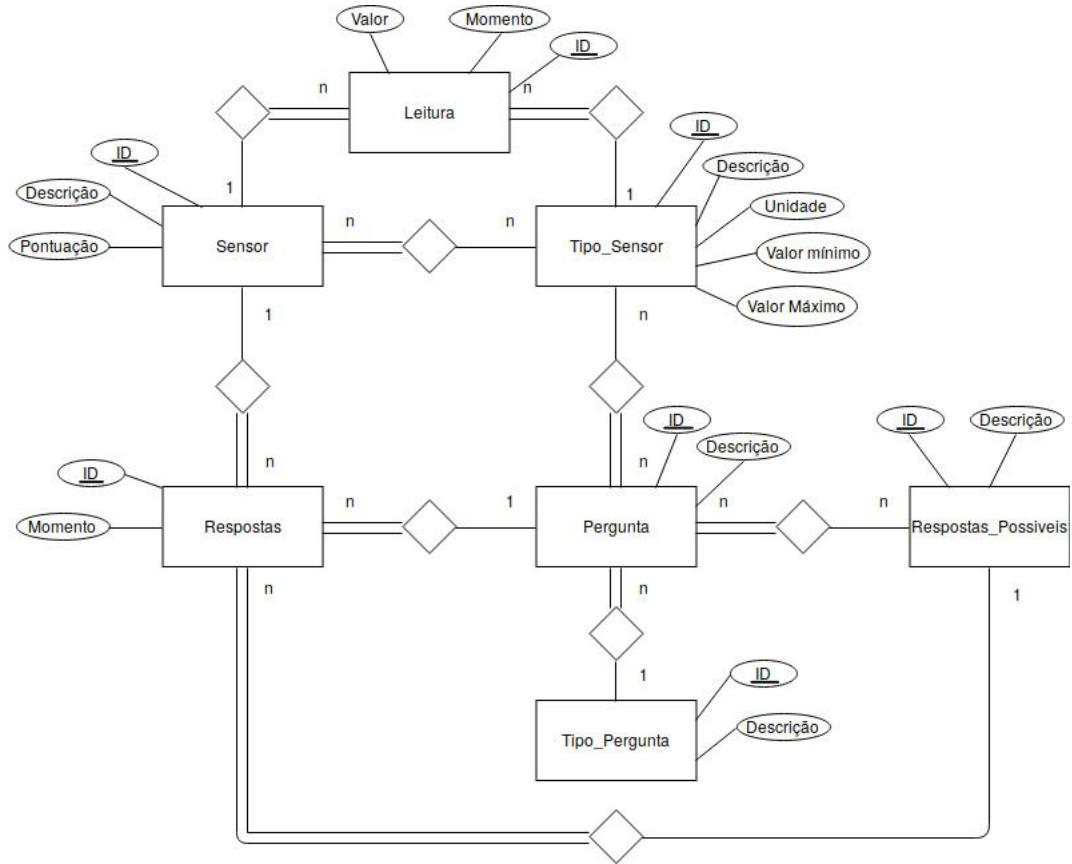


Figura 4.3: Diagrama Entidade Relacionamento.

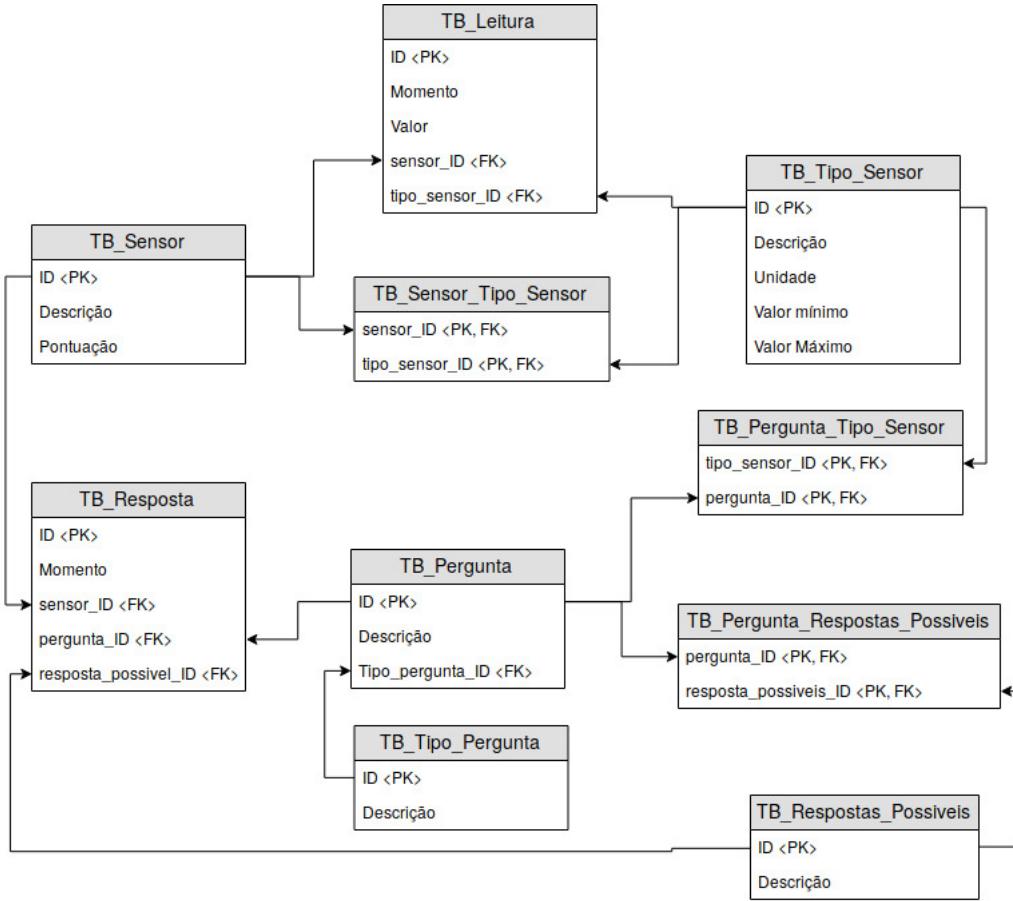


Figura 4.4: Modelo Relacional implementado.

A entidade "Respostas_Possíveis" foi criada com o intuito de evitar problemas durante a fase de colaboração humana com o sistema. Ao fixar as possibilidades de respostas para cada pergunta, evitam-se problemas como, por exemplo, erros de ortografia e erros na compreensão da pergunta.

A entidade "Tipo_Pergunta" implementa o que foi proposto na Figura 4.2. As perguntas podem ser utilizadas para se obter o contexto espacial ou psicológico.

4.1.5 O Sistema de Pontuação

Para a implementação do trabalho era imperativo o desenvolvimento de um sistema de pontuação a fim de avaliar os sensores. Para atingir este objetivo, foi pensado nas seguintes formas de avaliação:

- Modificar a pontuação

- A cada N leituras verifica-se a proximidade da média dessas N leituras com a média do mesmo período do dia nos M dias anteriores. A proximidade desses valores indica uma provável corretude dos dados gerados, enquanto a diferença indica possíveis erros de leitura.
- Aumentar a pontuação
 - A colaboração dos usuários com informações sobre suas percepções: por hora, se houverem interações, é verificado se há uma concentração nas respostas escolhidas. Por se tratarem de informações sobre sensações, não é possível afirmar que diferenças indicam erros.
- Penalização
 - Interrupções no envio de dados: se há uma interrupção no envio de dados, não há dados para serem considerados pelo sistema;
 - Dados muito constantes: se nas últimas N horas não houve variação alguma entre as leituras é possível presumir que há algum erro na aquisição de dados por parte do sensor.

4.1.6 A Interface do Sistema

Nesta Seção, é exposta a interface desenvolvida e suas funcionalidades. Na Figura 4.5, é mostrada a página inicial, na qual há uma pequena explicação sobre o propósito do site e os links para os repositórios do GitHub, onde se encontram disponíveis os arquivos da implementação do sistema. O sistema SenseHera encontra-se no endereço <http://jsenna.xyz/>.



Figura 4.5: Página inicial do site.

Ao clicar na aba "Dados" (botão localizado na barra de navegação), o usuário é redirecionado para a página principal do site, que contém informações sobre os sensores, bem como o número de leituras armazenadas e distribuição do número de leituras por sensor, como mostra a Figura 4.6.



Figura 4.6: Página principal do site.

Ao clicar na descrição de um sensor, o sistema retorna a página de detalhes para aquele sensor. Essa página possui informações sobre a distribuição de leituras ao longo do tempo, as leituras mais recentes referentes ao sensor, gráficos a respeito das informações coletadas nas últimas 24 horas e gráficos sobre a média histórica das leituras desse sensor, como mostra a Figura 4.7.



Figura 4.7: Página de detalhes de um sensor.

Para que os usuários possam fornecer informações sobre suas sensações e percepções, é necessário que o interessado em colaborar escaneie o QR-Code localizado próximo ao sensor, conforme a Figura 4.16, o que o redirecionará para uma página com uma pergunta aleatória referente ao dispositivo, como mostra a Figura 4.8.

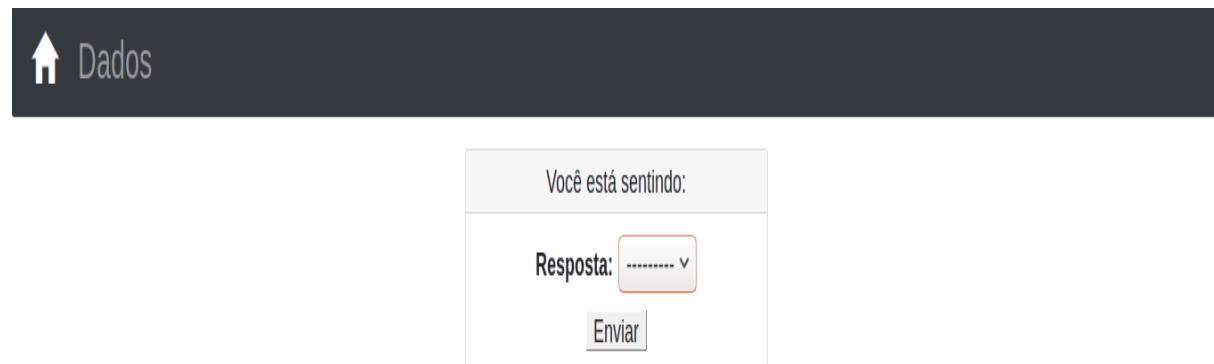


Figura 4.8: Página com uma pergunta aleatória referente ao sensor.

Para que os usuários administradores possam cadastrar novos responsáveis, alterar informações sobre instâncias de sensores e suas categorias, adicionar novas perguntas e respostas possíveis, foi utilizada a ferramenta de administração fornecida pelo *Framework* Django, como mostra a Figura 4.9.

The screenshot shows the Django administration site with a dark blue header bar containing the text "Django administration". Below it is a light blue bar labeled "Site administration". The main content area is divided into three horizontal sections:

- AUTHENTICATION AND AUTHORIZATION**: Contains links for "Groups" and "Users", each with "Add" and "Change" buttons.
- DATA**: Contains links for "Readings", "Sensor kinds", and "Sensors", each with "Add" and "Change" buttons.
- QUESTIONS**: Contains links for "Answerss", "Possible answerss", "Question kinds", and "Questionss", each with "Add" and "Change" buttons.

Figura 4.9: Ferramenta de administração fornecida pelo Framework Django.

4.2 Construção do Ambiente IoT

O ambiente IoT em escala reduzida utilizado neste trabalho de conclusão de curso é essencial para o teste de conceito do sistema proposto. A alimentação de dados pelos componentes da rede é necessária para que haja dados suficientes para o processamento do programa desenvolvido. As informações geradas por esses dispositivos, ao se comunicarem com o sistema, em colaboração com os usuários, permitem o pleno funcionamento da proposta.

4.2.1 Dispositivos Sensitivos

Foram construídos 5 (cinco) dispositivos sensitivos utilizando a plataforma Raspberry Pi 0 W seguindo o esquema da Figura 4.10. Esta placa foi escolhida por seu baixo custo, seu desempenho computacional proporcional ao custo, sua capacidade de conexão *wireless* disponível diretamente na placa, sem necessidade de equipamentos extras e a possibilidade de executar um sistema operacional baseado em linux para simplificar tarefas como a conexão à rede WiFi, armazenamento de dados e atualizações remotas.

Os dispositivos, após a montagem final, são capazes de medir temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade do ar (%) utilizando o sensor DHT11. Este sensor foi escolhido por sua praticidade de uso e baixo custo.

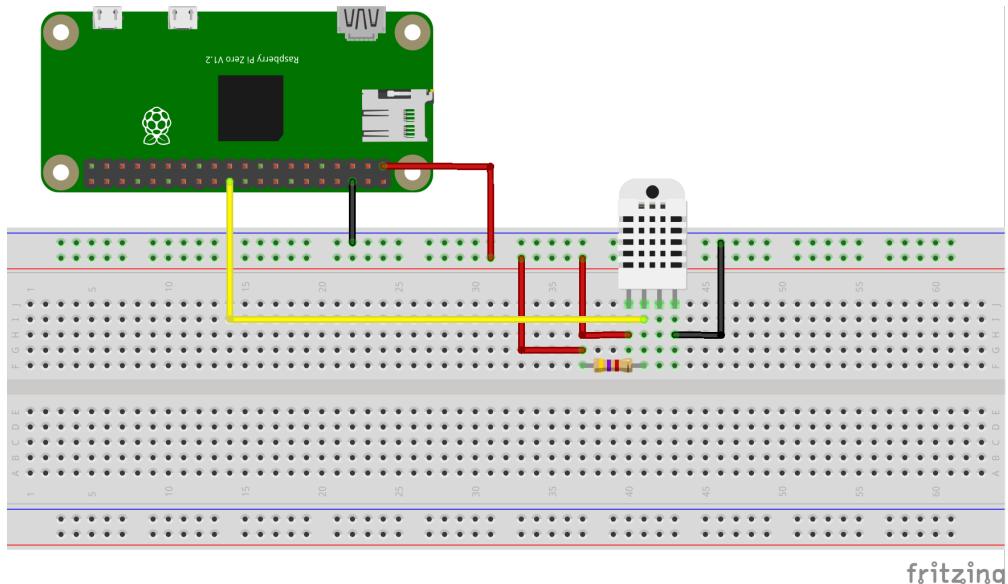


Figura 4.10: Esquema de montagem para os dispositivos sensitivos.

Para o envio e coleta das informações geradas pelo sensor DHT11, foi desenvolvido um *script* Python que segue o fluxograma da Figura 4.11. Nesse *script*, foram utilizadas as bibliotecas Requests [30] e Adafruit DHT [31].

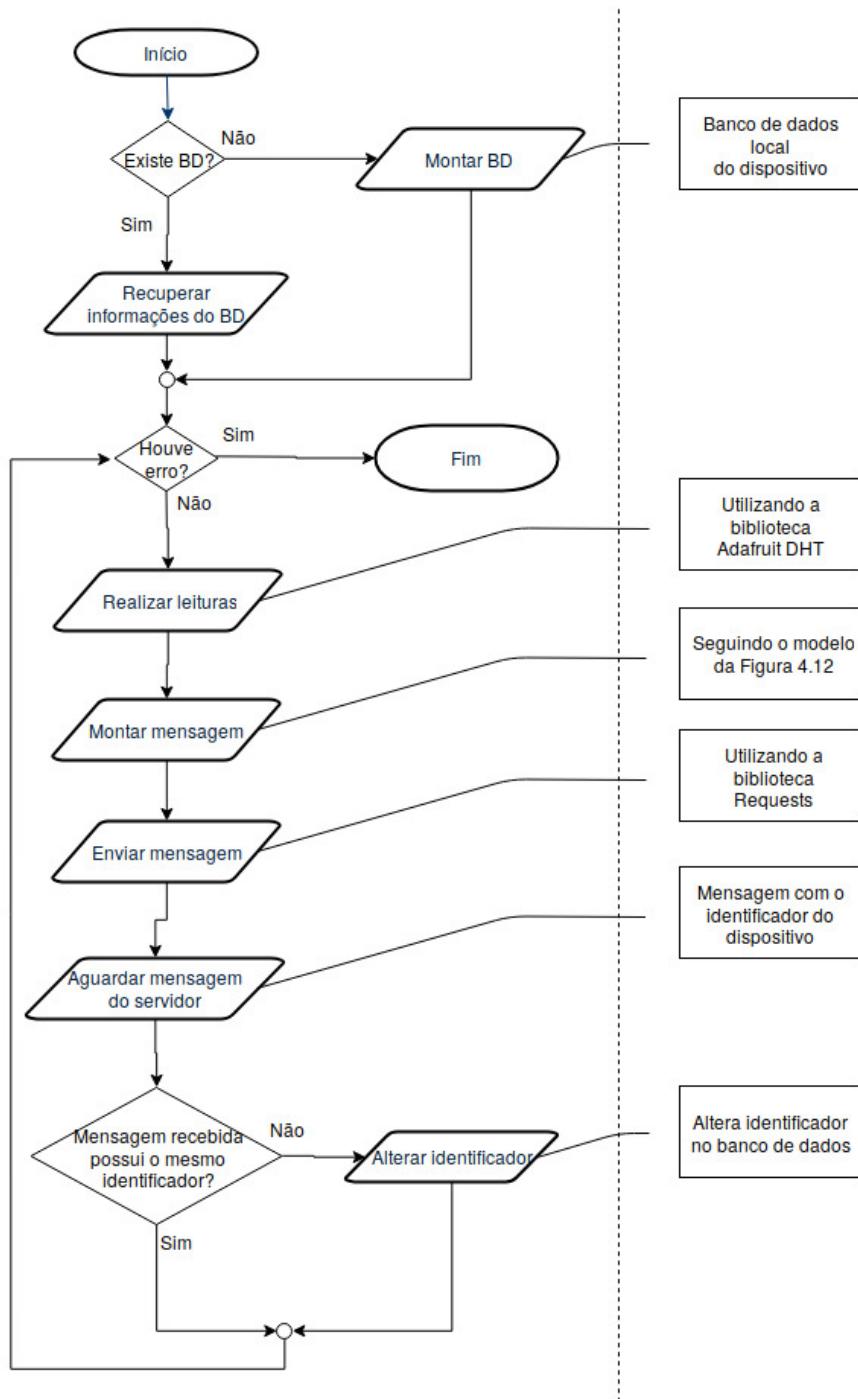


Figura 4.11: Fluxograma do funcionamento básico de um dispositivo sensitivo construído.

4.2.2 Interação Sensores-Servidor

A mensagem enviada pelos sensores é uma *string* no formato JSON formada por todas as informações estritamente necessárias para o registro no banco de dados do sistema de

destino. No escopo deste trabalho, são essenciais apenas as informações sobre o código identificador do equipamento, os tipos de sensor que esse dispositivo se enquadra (um dispositivo sensitivo pode ter vários tipos de sensor associados), como, por exemplo, umidade e temperatura, e suas respectivas leituras. A Figura 4.12 mostra o formato da informação a ser enviada.

Ao receber a informação, o sistema SenseHera decodifica a mensagem JSON e cria um objeto sensor no banco de dados caso o identificador recebido seja igual a 0. Neste caso, criam-se novas categorias de sensores se as que forem recebidas não constem no banco de dados. Após isso, armazenam-se as leituras, permitindo uma rápida e simples adição de sensores ao sistema, bastando, apenas, o envio da mensagem inicial. A chave primária desse objeto sensor recém criado é enviada do servidor para o dispositivo sensitivo, o qual armazena este identificador em seu banco de dados. A partir deste momento, novos envios contam com o novo valor do identificador, o que sinaliza para o sistema que deve apenas armazenar as leituras recebidas e associá-las ao sensor cuja chave primária é igual à recebida.

A Figura 4.13 mostra um exemplo de uma mensagem inicial enviada de um dispositivo sensitivo para o sistema SenseHera. A Figura 4.14 mostra um exemplo de mensagem subsequente à mensagem inicial. Neste contexto, ao receber a primeira mensagem, o SenseHera criou uma instância da entidade Sensor cujo identificador é igual a 5 e enviou esse código para o dispositivo.

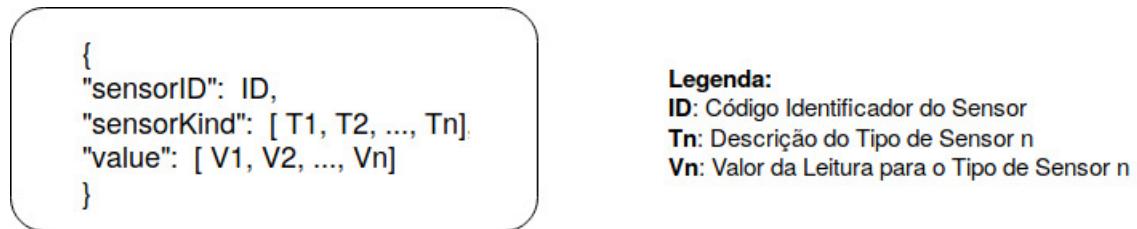


Figura 4.12: Formato genérico para a mensagem JSON.

```
{  
    "sensorID": 0,  
    "sensorKind": [ "Temperatura", "Umidade"],  
    "value": [ 28, 75]  
}
```

Figura 4.13: Exemplo de uma mensagem inicial em formato JSON.

```
{  
    "sensorID": 5,  
    "sensorKind": [ "Temperatura", "Umidade"],  
    "value": [ 29, 74]  
}
```

Figura 4.14: Exemplo de uma mensagem subsequente à mensagem inicial em formato JSON.

4.2.3 Localização do Ambiente IoT em Escala Reduzida

O ambiente escolhido para a aplicação em escala reduzida é um terreno de $2500\ m^2$ localizado em uma região rural do Distrito Federal. A disposição dos equipamentos foi feita conforme a Figura 4.15, com uma concentração dos sensores nos locais onde há maior fluxo de pessoas e nos lugares de interesse de aquisição de dados.

Este local foi escolhido pela presença constante de pessoas para a colaboração com o sistema, WiFi disponível em toda a área do terreno e pelo conhecimento prévio de valores aceitáveis de temperatura e umidade ao longo do ano.

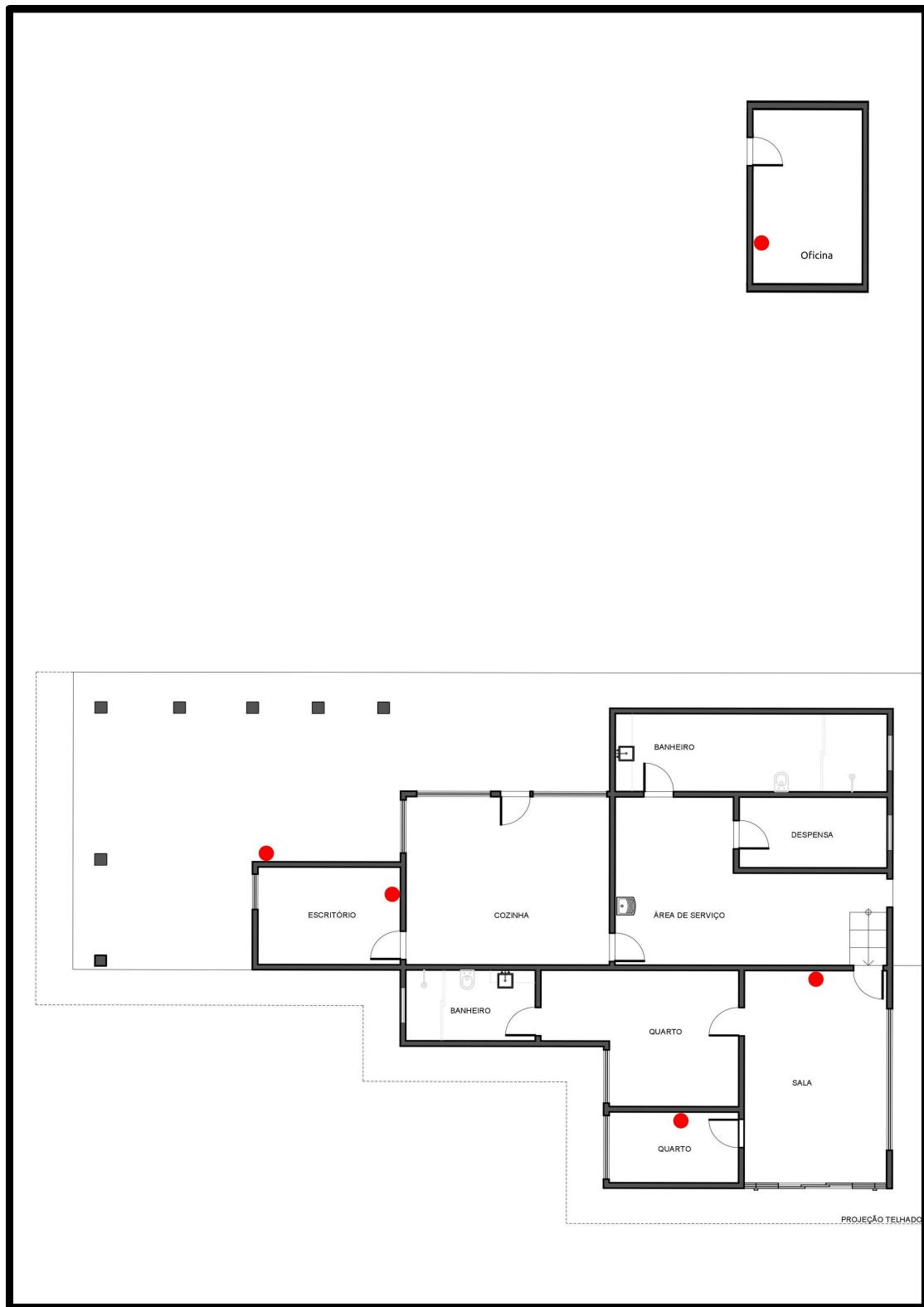


Figura 4.15: Planta baixa do ambiente escolhido para teste em escala reduzida. Os pontos em que os sensores foram instalados estão indicados em vermelho.

Para que os usuários possam contribuir com as informações sobre suas sensações e percepções, foram colocados QR-Codes próximos aos sensores, como mostrado na Figura 4.16, para que sejam escaneados e então redirecionem o usuário interessado em colaborar para uma página com uma pergunta aleatória referente ao sensor mais próximo ao QR-Code escaneado.



Figura 4.16: Sensor e QR-Code.

4.2.4 Comportamento Esperado

A montagem dos equipamentos foi realizada próxima ao solstício de verão, mas a base de dados de leituras considerada teve o início de seu preenchimento no mês de fevereiro. Neste contexto, o comportamento esperado para estes sensores é o seguinte:

- Período chuvoso (meados de outubro à meados de maio):
 - Valores elevados de temperatura durante o dia;
 - Valores de temperatura amenos durante a noite;
 - Valores de umidade mais elevados.
- Período de seca (meados de maio à meados de outubro):
 - Valores de temperatura elevados durante o dia;
 - Valores de temperatura baixos durante a noite;

- Valores de umidade decrescendo com o passar dos dias.
- Sensores externos à residência devem ter variações maiores de temperatura e umidade.

Caso os sensores apresentassem um comportamento excessivamente distinto do esperado, o efeito deveria ser refletido no resultado calculado pelo sistema SenseHera.

4.3 Dificuldades Encontradas

Durante a execução do projeto, muitas dificuldades foram superadas para que os objetivos traçados fossem atingidos.

4.3.1 Localização dos Sensores

A montagem inicial dos sensores foi realizada em uma região central da cidade de Brasília. Entretanto, alguns meses após o começo da coleta de dados, foi necessária uma mudança para a localização descrita nos procedimentos do trabalho.

Devido ao processo de mudança, também houve um grande atraso no recomeço da aquisição de dados, reduzindo consideravelmente a quantidade de registros que seriam coletados até o final da realização do trabalho.

4.3.2 Servidor

Inicialmente, o servidor seria localizado em uma rede local e implementado em uma placa de desenvolvimento Raspberry Pi modelo B+ que possui as seguintes características físicas:

- Tamanho: 85mm x 56mm;
- Processador ARM em clock de 700MHz;
- 512MB de memória RAM;
- 40 pinos GPIO;
- 4 portas USB 2.0.

Anteriormente à mudança de localidade, esta placa funcionou de forma adequada, armazenando os dados enquanto os outros elementos do sistema eram desenvolvidos. Após

a mudança, devido a diversas falhas na rede elétrica, houve uma corrupção dos dados armazenados na placa, o que levou à perda dos dados coletados até então, por volta de 300.000 (trezentos mil) registros de leituras. Após essa perda de dados, foi contratado um serviço externo e online, o que acarretou em um novo atraso no início da coleta de dados devido à necessidade da configuração referentes a um servidor remoto e online.

4.3.3 Sistema Gerenciador de Bancos de Dados

Inicialmente, o SGBD escolhido foi o MySQL. Entretanto, seguindo a implementação do DER desenvolvido para este trabalho, este Sistema Gerenciador de Bancos de Dados, associado ao *framework* Django, não possuia um desempenho satisfatório ao atingir mais de 900.000 (novecentos mil) registros de leituras. Ao testar o SGBD PostgreSQL, foi verificado que o seu desempenho, utilizando as ferramentas de acesso ao banco de dados fornecidas pelo Django, era adequado.

Devido à quantidade de dados já produzidos, à baixa capacidade computacional do servidor e inconsistências no formato do arquivo de exportação do SGBD previamente utilizado, não foi possível a importação no PostgreSQL das informações contidas no MySQL, levando à perda de uma considerável amostra de dados.

Capítulo 5

Resultados

Este capítulo trata sobre os resultados obtidos após a execução do trabalho. A Seção 5.1 trata de uma prova de conceito do sistema. A Seção 5.2 refere-se a um teste comparativo realizado entre os resultados obtidos pelo sistema SenseHera e os resultados obtidos a partir de uma ferramenta muito utilizada na indústria para avaliação de qualidade de equipamentos.

5.1 Prova de Conceito

Para a prova de conceito do sistema SenseHera, foi realizada a verificação da adição de um novo dispositivo sensitivo no ambiente IoT em escala reduzida (Seção 5.1.1), inspeção dos dados coletados por um dos sensores durante um período de tempo (Seção 5.1.2), realização de uma simulação de uma colaboração por parte de um usuário (Seção 5.1.3) e da utilização do sistema para a visualização dos dados coletados (Seção 5.1.4).

5.1.1 Adição de Dispositivos no Ambiente IoT

Supõe-se a construção de um novo dispositivo sensitivo, como mostra a Figura 5.1, e sua configuração prévia (instalação do sistema operacional e das ferramentas necessárias para seu funcionamento e o *download* do código desenvolvido para os sensores).



Figura 5.1: Novo dispositivo sensitivo construído.

Ao iniciar o código desenvolvido, o dispositivo cria um banco de dados local, realiza as leituras por meio do sensor DHT11, monta uma mensagem semelhante à mensagem mostrada na Figura 4.13, podendo ser diferente apenas no valor das leituras.

Quando o SenseHera recebe a mensagem, é criada uma instância da entidade Sensor, as leituras são armazenadas no banco de dados do servidor e o identificador da instância criada é enviada ao sensor. A partir deste momento, já é possível observar na página web que um novo sensor foi adicionado com o nome de "Descrição temporária sensor 2", conforme mostra a Figura 5.2. Novas leituras desse dispositivo são associadas à instância cuja descrição é "Descrição temporária sensor 2". Esta descrição pode ser alterada utilizando a ferramenta de administração disponibilizada pelo Django.

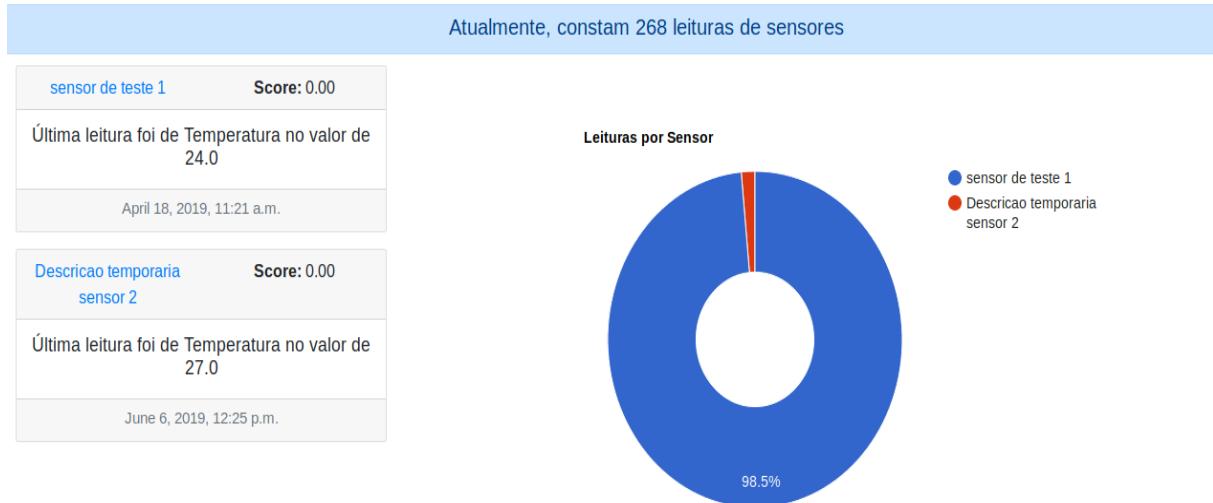


Figura 5.2: Novo dispositivo sensitivo adicionado ao sistema.

5.1.2 Inspeção dos Dados Coletados

É realizado o acesso do servidor via *Secure SHell* (SSH) e o acesso direto ao banco de dados é feito a partir da ferramenta para linha de comando do PostgreSQL, conforme mostra a Figura 5.3.

```
Last login: Sun Jun  9 15:24:22 2019 from 177.13.249.181
ubuntu@jsenna:~$ psql -d tccbd -U tccuser -W
Password for user tccuser:
psql (10.8 (Ubuntu 10.8-0ubuntu0.18.04.1))
Type "help" for help.

tccbd=> 
```

Figura 5.3: Acesso ao banco de dados via SSH.

A Figura 5.4 mostra as leituras coletadas durante um período de dez minutos pelo sensor cujo identificador é 4. Foram realizadas 22 leituras, 11 referentes à temperatura e 11 referentes à umidade. É possível observar a variação nos registros, o que mostra a variação real ocorrida no ambiente.

tccbd=> select * from data_reading where sensor_id=4 order by id desc limit 30;					
id	value	moment		sensor_id	sensorKind_id
1391322	24	2019-06-09 15:32:20.735725+00		4	2
1391321	67	2019-06-09 15:32:20.721001+00		4	1
1391314	24	2019-06-09 15:31:19.607938+00		4	2
1391313	68	2019-06-09 15:31:19.604808+00		4	1
1391306	24	2019-06-09 15:30:18.570456+00		4	2
1391305	70	2019-06-09 15:30:18.567605+00		4	1
1391298	24	2019-06-09 15:29:17.517415+00		4	2
1391297	71	2019-06-09 15:29:17.514716+00		4	1
1391290	24	2019-06-09 15:28:16.49806+00		4	2
1391289	71	2019-06-09 15:28:16.494513+00		4	1
1391282	24	2019-06-09 15:27:15.441107+00		4	2
1391281	69	2019-06-09 15:27:15.414971+00		4	1
1391274	24	2019-06-09 15:26:14.357397+00		4	2
1391273	68	2019-06-09 15:26:14.354556+00		4	1
1391266	24	2019-06-09 15:25:13.312361+00		4	2
1391265	70	2019-06-09 15:25:13.309366+00		4	1
1391258	24	2019-06-09 15:24:12.222729+00		4	2
1391257	71	2019-06-09 15:24:12.219791+00		4	1
1391250	24	2019-06-09 15:23:11.196261+00		4	2
1391249	71	2019-06-09 15:23:11.193194+00		4	1
1391242	24	2019-06-09 15:22:10.15523+00		4	2
1391241	69	2019-06-09 15:22:10.152402+00		4	1

Figura 5.4: Registros de sensor em um período de dez minutos.

5.1.3 Simulação de Colaboração Por Um Usuário

Supõe-se que um usuário do sistema, ao se deparar com algum dos QR-Codes apresentados na Figura 5.5, decide escaneá-lo.



Figura 5.5: QR-Codes localizados próximos aos sensores.

Ao ser redirecionado pelo *software* de escaneamento para a página web, uma pergunta é aleatoriamente escolhida pelo sistema, a qual é apresentada para o usuário, conforme a Figura 5.6. Como o conjunto de respostas possíveis para uma pergunta é pré-definido, evitam-se erros de ortografia e erros de entendimento da pergunta, como mostra a Figura 5.7. O colaborador envia sua resposta para o SenseHera, a qual é armazenada no banco de dados do sistema, como mostra a Figura 5.8. A cada hora o sistema verifica se há uma concentração das respostas e realiza as operações referentes ao cálculo da pontuação do sensor.

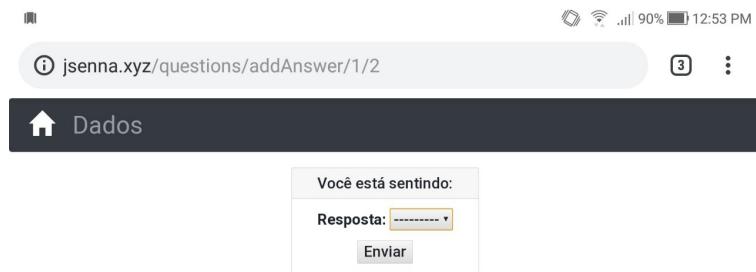


Figura 5.6: Exemplo de pergunta apresentada ao colaborador.

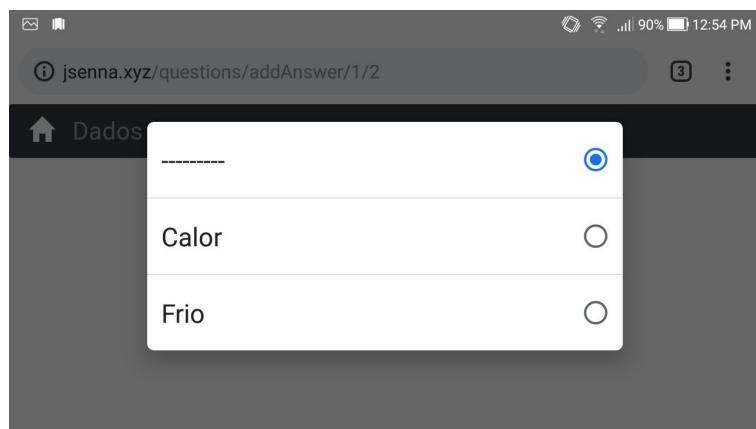


Figura 5.7: Exemplo de um conjunto de respostas possíveis apresentadas ao colaborador.

```
tccbd=> select * from questions_answers where moment>='2019-06-09';
+-----+-----+-----+-----+
| id |      moment      | answer_id | question_id | sensor_id |
+-----+-----+-----+-----+
| 12 | 2019-06-09 19:51:16.684186+00 |       4 |          2 |         1 |
| 13 | 2019-06-09 19:51:57.377338+00 |       1 |          3 |         1 |
| 14 | 2019-06-09 19:52:21.162385+00 |       2 |          4 |         1 |
| 15 | 2019-06-09 19:52:36.561924+00 |       2 |          4 |         1 |
| 16 | 2019-06-09 19:52:58.469713+00 |       1 |          1 |         1 |
| 17 | 2019-06-09 19:53:12.713654+00 |       1 |          3 |         1 |
(6 rows)

tccbd=>
```

Figura 5.8: Respostas enviadas pelo usuário colaborador.

5.1.4 Utilização do Sistema

Supõe-se um usuário do sistema com interesse em controlar as condições de temperatura e umidade de um dos cômodos da residência em que o SenseHera está funcionando. Ao abrir a página de dados, todos os dispositivos sensitivos estão listados à esquerda, como mostra a Figura 5.9.

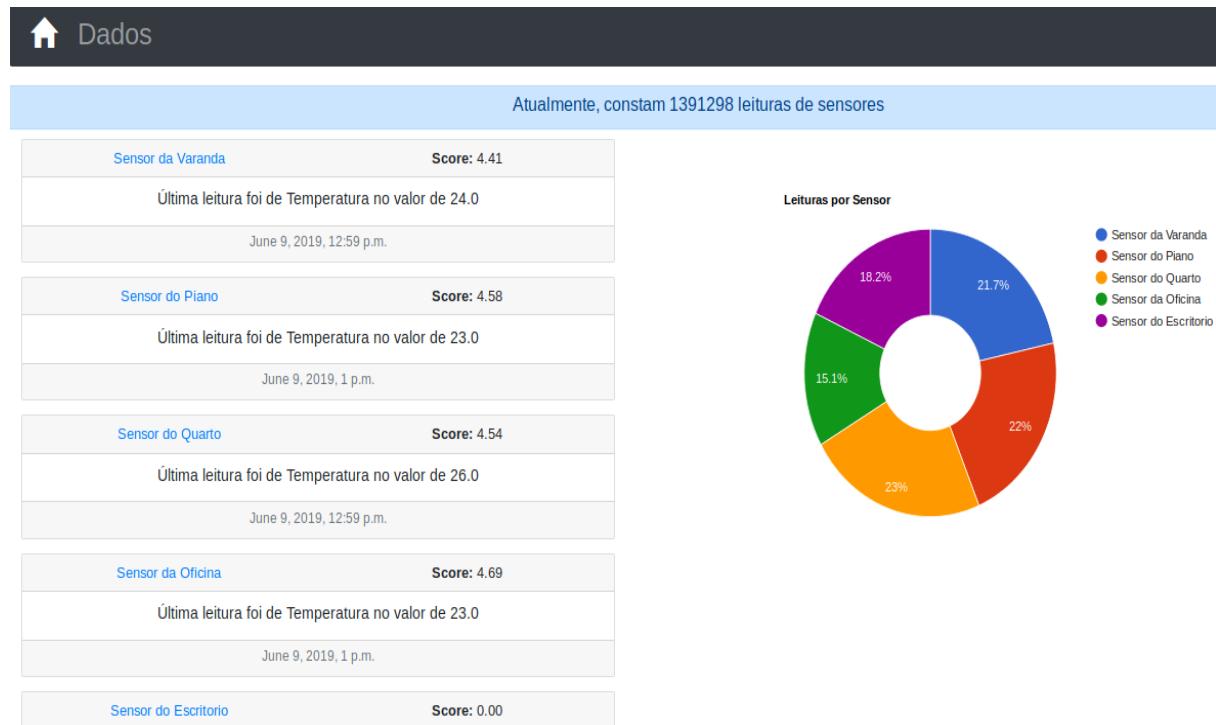


Figura 5.9: Lista de dispositivos.

O usuário, então, escolhe o cômodo que deseja visualizar as informações coletadas. Na página com os detalhes de um sensor, é possível ver informações sobre as últimas leituras e a pontuação do sensor, como mostra a Figura 5.10. Também é possível verificar a média das leituras nas últimas 24 horas, bem como a média histórica dos registros, respectivamente, nas Figuras 5.11 e 5.12.

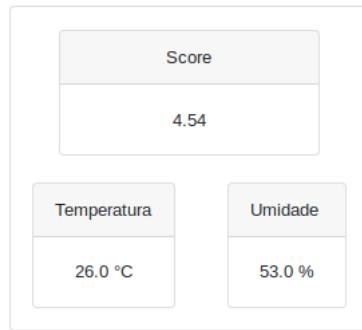


Figura 5.10: Últimas leituras e pontuação do sensor.

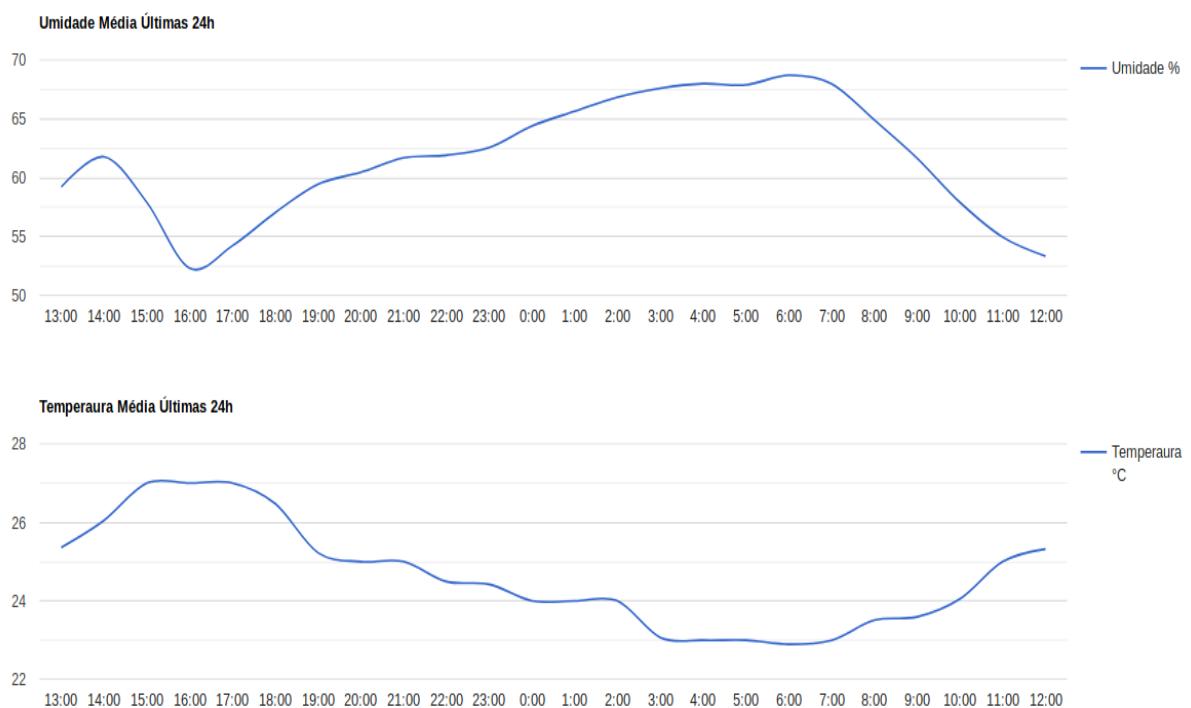


Figura 5.11: Gráficos com a média das leituras das últimas 24 horas.

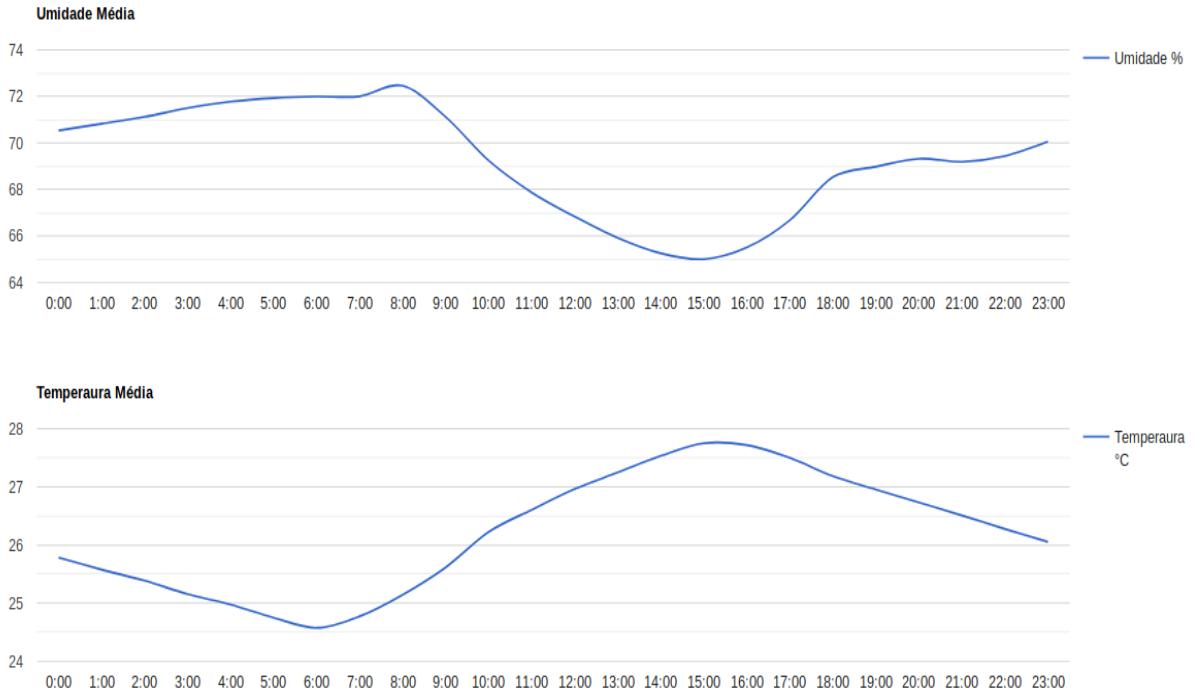


Figura 5.12: Gráficos com a média histórica das leituras.

Com as informações contidas na página de detalhes, o usuário pode tomar decisões mais acertivas sobre o que irá fazer para controlar, da forma desejada, as condições de temperatura e umidade do cômodo escolhido.

5.2 Teste Comparativo

Os resultados deste projeto, além da própria implementação do sistema, são os dados coletados pelos sensores conectados ao ambiente IoT e análises referentes a esses dados. Do momento em que foi executada a última restauração do banco de dados para seu estado inicial (realizada em 12/02/2019), até o dia 17/05/2019, foram coletadas 1.091.516 (um milhão noventa e um mil quinhentas e dezesseis) leituras.

Para a comparação com a métrica de qualidade dos sensores implementada no sistema, foi utilizada a *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), uma métrica quantitativa desenvolvida em 1988 no Japão dentro do conceito de manutenção produtiva total que tem como objetivo medir diferentes tipos de perda de eficiência de um equipamento e indicar áreas para o aperfeiçoamento do processo de produção [20].

A Disponibilidade (D) de um equipamento pode ser dada pela razão entre o tempo útil

(U) de funcionamento e o tempo total de funcionamento (N), como mostra a Equação 5.1. No escopo deste trabalho, o tempo útil é a quantidade de dias com o número de registros armazenados maior do que a metade do total esperado. O número de registros esperados por dia corresponde à multiplicação da quantidade de leituras por hora e o número de horas em um dia, o que corresponde a 2880 registros diários. A Tabela 5.1 mostra os dados utilizados para o cálculo de disponibilidade dos sensores.

$$D = \frac{U}{N} \quad (5.1)$$

Tabela 5.1: Tabela que representa a disponibilidade dos sensores.

Sensor	Número de dias em funcionamento (N)	Tempo útil em dias (U)	Tempo de não funcionamento em dias (I)	Disponibilidade (D)
Oficina	53	49	4	92,45%
Escritório	95	89	6	93,68%
Quarto	95	93	2	97,89%
Varanda	95	87	8	91,57%
Piano	95	89	6	93,68%

A Produtividade (P) de um equipamento pode ser calculada pela razão entre a quantidade de unidades produzidas (L) e a quantidade esperada (E), como mostra a Equação 5.2. No escopo desse trabalho, é utilizada como unidade produzida a leitura enviada pelo sensor e armazenada no servidor. O número de leituras esperado (E) é dado pelo número de dias de funcionamento (N) multiplicado pela quantidade de registros que deveriam ser enviados por dia (número de leituras por hora vezes 24 horas), no contexto dos sensores utilizados no ambiente IoT em escala reduzida, cada dispositivo sensitivo envia duas leituras por minuto, uma referente à temperatura e outra à umidade, seguindo a Equação 5.3. A Tabela 5.2 mostra os dados utilizados para o cálculo da produtividade dos sensores.

$$P = \frac{L}{E} \quad (5.2)$$

$$E = N * (60 * 2 * 24) \quad (5.3)$$

Tabela 5.2: Tabela que representa a produtividade dos sensores.

Sensor	Número de dias em funcionamento (N)	Número de leituras (L)	Número de leituras esperado (E)	Disponibilidade (D)
Oficina	53	140754	152640	92,21%
Escritório	95	233500	273600	85,34%
Quarto	95	246550	273600	90,11%
Varanda	95	233722	273600	85,42%
Piano	95	236990	273600	86,62%

A característica Qualidade (Q) em uma avaliação de *Overall Equipment Effectiveness* de um equipamento é dada pela razão entre a quantidade total produzida (T) deduzida da quantidade inutilizada ou retrabalhada (U) e a quantidade total produzida (T), conforme mostra a Equação 5.4.

Visto que neste trabalho de conclusão de curso o objetivo é apresentar uma avaliação dos sensores, não foi realizada uma avaliação do dado produzido pelos equipamentos, não existindo, então, a noção de quantidade inutilizada ou retrabalhada uma vez que uma leitura pode apenas ser armazenada ou não, o que leva a qualidade do que é produzido ser sempre igual a 100%.

$$Q = \frac{T - U}{T} \quad (5.4)$$

A OEE é dada pela multiplicação entre os valores de Produtividade, Disponibilidade e Qualidade, conforme a Equação 5.5, gerando a Tabela 5.3 a seguir.

$$OEE = P * D * Q \quad (5.5)$$

Tabela 5.3: Tabela que representa a OEE dos sensores.

Sensor	Disponibilidade (D)	Produtividade (P)	Qualidade (Q)	OEE
Oficina	92,45%	92,21%	100%	85,24%
Escritório	93,68%	85,34%	100%	79,94%
Quarto	97,89%	90,11%	100%	88,20%
Varanda	91,57%	85,42%	100%	78,22%
Piano	93,68%	86,62%	100%	81,15%

O sistema de pontuação utilizado está descrito na Seção 4.1.5, o que inclui, por exemplo, as considerações de regularidade das leituras, interrupções no envio de dados e as colaborações dos usuários.

A Tabela 5.4 mostra a média da pontuação dos sensores, calculada pelo sistema em comparação com a pontuação OEE. A utilização da média da pontuação calculada foi necessária devido ao fato da *Overall Equipment Effectiveness* tratar de dados históricos.

Tabela 5.4: Tabela que representa a comparação entre OEE dos sensores e a pontuação calculada pelo sistema.

Sensor	OEE	Pontuação Calculada
Oficina	85,24%	88%
Escritório	79,94%	84,4%
Quarto	88,20%	89%
Varanda	78,22%	83,6%
Piano	81,15%	85,7%

Capítulo 6

Conclusão

Este trabalho de conclusão de curso apresentou o desenvolvimento do sistema SenseHera, um sistema web colaborativo com o objetivo de armazenar, gerenciar e avaliar a qualidade de sensores em um ambiente Internet das Coisas.

Para tanto, primeiramente, foi construído um ambiente IoT em escala reduzida, composto de 5 (cinco) dispositivos sensitivos. Cada equipamento foi montado utilizando a placa Raspberry Pi 0 W e o sensor DHT11 (sensor de umidade e temperatura). Os sensores coletam as informações e, a cada minuto, as enviam para o sistema por meio de mensagens no formato JSON.

Após a construção deste ambiente, o sistema web SenseHera foi desenvolvido seguindo como base os requisitos elaborados na fase de projeto, os quais estão elencados a seguir: funcionar em ambientes de baixa capacidade computacional; armazenar informações coletadas por sensores; apresentar as informações dos sensores de forma simplificada ao usuário; escalabilidade e facilidade para adição de sensores; permitir o envio de informações sobre fatos e sensações do ambiente pelo usuário e baseado nos dados coletados pelos sensores e informações enviadas pelos usuários, calcular uma nota para os dispositivos sensitivos, gerando uma noção de qualidade.

Em sequência ao desenvolvimento do sistema web, foi realizada a coleta de dados por 95 (noventa e cinco) dias, o que proporcionou uma base de dados com 1.091.516 (um milhão noventa e um mil quinhentas e dezesseis) leituras. Durante o período de coleta de dados, os usuários colaboraram com o sistema, fornecendo perspectivas espaciais e psicológicas, as quais foram utilizadas, junto com os dados coletados por cada sensor, para realizar o cálculo de qualidade de cada dispositivo sensitivo.

Passados os 95 dias do início da coleta de dados, foi realizado um teste comparativo entre o resultado calculado pelo sistema SenseHera e uma ferramenta amplamente utilizada na indústria. O sistema implementado consegue calcular uma noção de qualidade

razoável utilizando os dados coletados automaticamente e as informações fornecidas pelos usuários. A métrica utilizada foi validada por meio de comparação com outra ferramenta de medição de qualidade, a *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), utilizada na indústria para medição de eficiência de equipamentos.

Ao disponibilizar a pontuação de cada sensor para os agentes (humanos ou máquinas), o sistema valida os sensores utilizados no ambiente IoT no qual o SenseHera está inserido. Esses agentes, por sua vez, podem utilizar essas informações para que sejam tomadas decisões mais acertivas.

Os temas a seguir tratam de possibilidades para trabalhos futuros relacionados ao tema: implementação do sistema utilizando bancos de dados NOSQL; associar as informações fornecidas pelos usuários aos registros dos sensores por meio de metadados; implementação de uma ontologia para fornecer semântica aos dados; permitir o envio de informações mais complexas aos sensores.

Referências

- [1] Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito: *The internet of things: A survey.* Computer networks, 54(15):2787–2805, 2010. ix, 1, 6, 7, 8, 10
- [2] 13, ITU T Study Group: *Recommendation itu-t y.2060. overview of the internet of things*, 2007. <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>. ix, 8, 9
- [3] *Raspberry Pi, o W.* <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>>. Acessado em: 2018-07-6. ix, 15
- [4] Giusto, D: *A. lera, g. morabito, l. atzori (eds.) the internet of things*, 2010. 1, 6
- [5] Gubbi, Jayavardhana, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic e Marimuthu Palaniswami: *Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions.* Future generation computer systems, 29(7):1645–1660, 2013. 1, 6, 10
- [6] Intelligence, SCB: *Six technologies with potential impacts on us interests out to 2025.* National Intelligent Concil, Tech. Rep, 2008. 1
- [7] Hassan, Umairul et al.: *A collaborative approach for metadata management for internet of things.* Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, páginas 593–598, 2013. 2, 11, 20
- [8] Grosz, Barbara J: *Collaborative systems (aaai-94 presidential address).* AI magazine, 17(2):67, 1996. 4, 6
- [9] Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda: *Novo dicionário aurélio da língua portuguesa.* Em *Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa*. 2004. 4
- [10] Lee, In e Kyoochun Lee: *The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises.* Business Horizons, 58(4):431–440, 2015. 9
- [11] Want, Roy: *An introduction to rfid technology.* IEEE pervasive computing, 5(1):25–33, 2006. 10
- [12] Chaqfeh, Moumena A e Nader Mohamed: *Challenges in middleware solutions for the internet of things.* Em *2012 international conference on collaboration technologies and systems (CTS)*, páginas 21–26. IEEE, 2012. 10
- [13] De, Suparna, Payam Barnaghi, Martin Bauer e Stefan Meissner: *Service modelling for the internet of things.* Em *2011 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, páginas 949–955. IEEE, 2011. 10

- [14] Vermesan, Ovidiu, Peter Friess, Patrick Guillemin, Sergio Gusmeroli, Harald Sundmaeker, Alessandro Bassi, Ignacio Soler Jubert, Margaretha Mazura, Mark Harrison, Markus Eisenhauer *et al.*: *Internet of things strategic research roadmap*. Internet of things-global technological and societal trends, 1(2011):9–52, 2011. 10
- [15] Barnaghi, Payam, Wei Wang, Cory Henson e Kerry Taylor: *Semantics for the internet of things: early progress and back to the future*. International Journal on Semantic Web and Information Systems, 8(1):1–21, 2012. 11
- [16] Charu C. Aggarwal, Naveen Ashish, Amit Sheth: *The internet of things: a survey from the data-centric perspective*. Em *Managing and mining sensor data*, capítulo 12, páginas 383–428. Springer, Boston, MA, 2013. 11
- [17] Duval, Erick *et al.*: *Metadata principles and practicalities*, 2002. <http://www.dlib.org/dlib/april02/weibel/04weibel.html>? 12
- [18] Mike Botts, Alexandre Robin: *Opengis sensor model language (sensorml) implementation specification*, 2007. 12, 13
- [19] Hashem, Ibrahim Abaker Targio, Ibrar Yaqoob, Nor Badrul Anuar, Salimah Mokhtar, Abdullah Gani e Samee Ullah Khan: *The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues*. Information systems, 47:98–115, 2015. 13
- [20] Muchiri, Peter e Liliane Pintelon: *Performance measurement using overall equipment effectiveness (oee): literature review and practical application discussion*. International journal of production research, 46(13):3517–3535, 2008. 14, 48
- [21] Amazon lightsail. <<https://aws.amazon.com/pt/lightsail/>>. Acessado em: 2019-05-23. 14, 15, 24
- [22] Raspberry Pi, About us. <<https://www.raspberrypi.org/about/>>. Acessado em: 2018-07-6. 14
- [23] Framework django. <<https://www.djangoproject.com/>>. Acessado em: 2019-05-23. 15
- [24] Kitchenham, Barbara e Stuart Charters: *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. 2007. 16
- [25] Saied, Yosra Ben, Alexis Olivereau, Djamal Zeghlache e Maryline Laurent: *Lightweight collaborative key establishment scheme for the internet of things*. Computer Networks, 64:273–295, 2014. 20
- [26] Ramachandran, Gowri Sankar, José Proença, Wilfried Daniels, Mario Pickavet, Dimitri Staessens, Christophe Huygens, Wouter Joosen e Danny Hughes: *Hitch hiker 2.0: a binding model with flexible data aggregation for the internet-of-things*. Journal of Internet Services and Applications, 7(1):4, 2016. 20

- [27] Soldatos, John, Nikos Kefalakis, Manfred Hauswirth, Martin Serrano, Jean Paul Calbimonte, Mehdi Riahi, Karl Aberer, Prem Prakash Jayaraman, Arkady Zaslavsky, Ivana Podnar Žarko *et al.*: *Openiot: Open source internet-of-things in the cloud*. Em *Interoperability and open-source solutions for the internet of things*, páginas 13–25. Springer, 2015. 20
- [28] Fortuna, Carolina, Patricia Oniga, Zoltan Padrah, Mihael Mohorcic e Alexandra Moraru: *Metadata management for the web of things: a practical perspective*. Em *Proceedings of the third international workshop on the web of things*, página 4. ACM, 2012. 20
- [29] Reaidy, Paul J, Angappa Gunasekaran e Alain Spalanzani: *Bottom-up approach based on internet of things for order fulfillment in a collaborative warehousing environment*. International Journal of Production Economics, 159:29–40, 2015. 20
- [30] Reitz, Kenneth: *Requests, http for humans*, 2019. <https://2.python-requests.org/en/master/>. 32
- [31] DiCola, Tony: *Adafruit python dht sensor library*, 2018. https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT. 32