



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

GUSTAVO TSUYOSHI ARIGA

**Integração do WoTPy com Grafos de Conhecimento para Aprimorar a  
Interoperabilidade na Internet das Coisas (IoT)**

São Paulo  
Dezembro de 2023

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

GUSTAVO TSUYOSHI ARIGA

**Integração do WoTPy com Grafos de Conhecimento para Aprimorar a  
Interoperabilidade na Internet das Coisas (IoT)**

Monografia apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos exigidos na disciplina ACH 2018 – Projeto Supervisionado ou de Graduação II, para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Área de concentração: Metodologia e Técnicas da Computação

Orientador: Prof. Dr. Fábio Nakano

Coorientador: Prof. Dr. José de Jesús Pérez-Alcázar

**Modalidade: TCC Longo (1 ano) - individual**

São Paulo

Dezembro de 2023



## Glossário

**Arquitetura:** estrutura geral e organização de um sistema ou aplicação, incluindo seus componentes, padrões e princípios subjacentes. [2](#)

**Computação em Névoa:** paradigma de computação que estende os serviços de computação, armazenamento e rede para a borda da rede, mais próxima dos dispositivos IoT e usuários finais.. [2](#)

**Corotinas:** componentes que generalizam as sub-rotinas para permitir múltiplos pontos de entrada e suspensão da execução em determinados locais.. [2](#)

**Descrição de Coisas:** *Thing Descriptions* - descrições de metadados e interfaces de rede de coisas (dispositivos) no contexto do W3C-WoT. [2](#)

**Endpoint SPARQL:** interface de acesso a um grafo de conhecimento que permite consultas e recuperação de informações usando a linguagem de consulta SPARQL. [2](#)

**Framework:** estrutura conceitual e tecnológica pré-definida, destinada a servir como base para a organização e desenvolvimento de software.. [2](#)

**Gateway:** dispositivo ou *software* que conecta redes ou sistemas diferentes, permitindo a comunicação e a transferência de dados entre eles. [2](#)

**Grafo de conhecimento:** estruturas de dados que representam conhecimento e informações em forma de grafos, onde os nós representam entidades e as arestas representam as relações entre elas. [2](#)

**Handlers:** componentes de *software* responsáveis por lidar com solicitações, eventos ou tarefas específicas em um sistema ou aplicação. [2](#)

**Interconexão:** conexão e integração de diferentes sistemas, dispositivos ou redes para permitir a comunicação e a troca de informações entre eles. [2](#)

**Interoperabilidade:** capacidade de diferentes sistemas ou dispositivos se comunicarem, trocarem informações e trabalharem juntos de forma eficiente e eficaz. [2](#)

**IoT:** Internet das Coisas (*Internet of Things*) - interconexão de dispositivos físicos (coisas) que são capazes de coletar e trocar dados por meio de uma rede. [2](#)

**Microcontrolador:** dispositivo eletrônico que incorpora um microprocessador, memória e periféricos em um único chip. [2](#)

**Modelos de Vinculação:** *Binding Templates* - modelos que fornecem orientações para definir interfaces de rede para protocolos específicos e ecossistemas de IoT no contexto do W3C-WoT. [2](#)

**Ontologias:** conjunto de conceitos, termos e relações que modelam um determinado domínio de conhecimento.. [2](#)

**OWL:** *Web Ontology Language* - linguagem desenvolvida pela W3C para criar ontologias complexas na Web, permitindo a representação de conhecimento avançado e relações entre entidades. [2](#)

**Persistência:** característica que define a longevidade dos dados armazenados para além da execução do processo ou programa que os criou.. [2](#)

**Protocolo de comunicação:** conjuntos de regras e formatos de dados que governam a troca de informações entre sistemas ou dispositivos de rede. [2](#)

**RDF:** *Resource Description Framework* - padrão da W3C para modelar informações sobre recursos na Web, utilizando uma estrutura de triplas para representar relações semânticas entre recursos. [2](#)

**Semântica:** significado ou interpretação do conteúdo de um dado ou informação.. [2](#)

**Servidor:** computador ou sistema que fornece serviços, recursos ou funcionalidades a outros dispositivos ou sistemas, conhecidos como clientes, por meio de uma rede. [2](#)

**SOSA:** *Sensor, Observation, Sample, and Actuator* - ontologia leve que faz parte do SSN, focada em descrever observações, amostragens e atuações em sistemas de sensores. [2](#)

**SSN:** *Semantic Sensor Network* - ontologia que permite a descrição de sensores e suas observações, enfocando as capacidades, propriedades medíveis e relações com outros recursos. [2](#)

**W3C:** *World Wide Web Consortium* - consórcio internacional que desenvolve padrões e diretrizes para a *World Wide Web*, visando promover sua acessibilidade, usabilidade e interoperabilidade. [2](#)

**Web:** *World Wide Web* - sistema de informação e documentos interconectados, acessíveis por meio da Internet e navegadores da Web. [2](#)

**WoT:** Web das Coisas (*Web of Things*) - extensão da Web para abranger a interconexão e interação de dispositivos físicos por meio de padrões e tecnologias da Web. [2](#)

**WoTPy:** Web das Coisas Python (*Web of Things Python*) - *gateway* experimental baseado no W3C-WoT. [2](#)

## Resumo

ARIGA, Gustavo Tsuyoshi. **Integração do WoTPy com Grafos de Conhecimento para Aprimorar a Interoperabilidade na Internet das Coisas (IoT)**. Dezembro de 2023. 37 p. Monografia – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Neste trabalho, será abordada a integração do WoTPy com grafos de conhecimento, contribuindo para superar os desafios de interoperabilidade presentes na crescente área da Internet das Coisas (IoT). WoTPy, um arcabouço que pode ser usado para construir *gateways IoT*, implementa parte do padrão *W3C-Web of Things* (WoT) mas enfrenta desafios significativos em termos de integração e interpretação de dados provenientes de uma variedade de dispositivos IoT. O foco deste projeto é ampliar as funcionalidades do WoTPy por meio da integração com uma arquitetura de grafos de conhecimento, proporcionando interpretação semântica dos dados da IoT. Por meio da aplicação de ontologias como SSN (Semantic Sensor Network) e SOSA (Sensor, Observation, Sample, and Actuator), o estudo aprofunda a representação e as interações entre os dispositivos IoT. A implementação de um modelo RDF/OWL, juntamente com um endpoint SPARQL, são etapas necessárias neste processo. Esta implementação tem o objetivo de aprimorar a comunicação entre dispositivos IoT e facilitar o desenvolvimento de soluções IoT mais inteligentes, adaptáveis e contextualmente relevantes.

Palavras-chaves: Internet das Coisas (IoT). WoTPy. Grafos de Conhecimento. W3C-Web of Things (WoT).

## Abstract

ARIGA, Gustavo Tsuyoshi. **Integration of WoTPy with Knowledge Graphs to Improve Interoperability in the Internet of Things (IoT)**. Dezembro de 2023. 37 p. Monograph – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2023.

In this work, the integration of WoTPy with knowledge graphs will be addressed, contributing to overcome the interoperability challenges in the growing field of the Internet of Things (IoT). WoTPy, a framework compliant to the W3C-Web of Things (WoT) standard, makes it easy to deploy IoT Gateways but faces significant challenges in terms of integrating and interpreting data from a variety of IoT devices. The focus of this project is to expand WoTPy's functionalities through integration with a knowledge graph architecture, providing a semantic interpretation of IoT data. By applying ontologies such as SSN (Semantic Sensor Network) and SOSA (Sensor, Observation, Sample, and Actuator), the study deepens the representation and interactions among IoT devices. Implementing an RDF/OWL model, along with a SPARQL endpoint, constitutes fundamental steps in this process. These implementations aim to enhance communication among IoT devices and facilitate the development of smarter, adaptable, and contextually relevant IoT solutions.

Keywords: Internet of Things (IoT). WoTPy. Knowledge Graphs. W3C-Web of Things (WoT).



## Sumário

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>  | <b>10</b> |
| <b>2</b> | <b>Objetivos</b>   | <b>12</b> |
| 2.1      | <i>Objetivo Geral</i>  | 12        |
| 2.2      | <i>Objetivos Específicos</i>                                       | 12        |
| <b>3</b> | <b>Revisão Bibliográfica</b>                                       | <b>14</b> |
| 3.1      | <i>Fundamentos da Internet das Coisas (IoT)</i>                    | 14        |
| 3.2      | <i>Desafios de Interoperabilidade na Internet das Coisas (IoT)</i> | 14        |
| 3.3      | <i>W3C-Web of Things (WoT) e WoTPy</i>                             | 15        |
| 3.4      | <i>Grafos de Conhecimento na IoT</i>                               | 16        |
| <b>4</b> | <b>Metodologia</b>   | <b>18</b> |
| 4.1      | <i>Introdução à Metodologia</i>                                    | 18        |
| 4.2      | <i>Análise de Requisitos</i>                                       | 19        |
| 4.3      | <i>Desenvolvimento de Grafos de Conhecimento</i>                   | 20        |
| 4.4      | <i>Integração do WoTPy com Grafos de Conhecimento</i>              | 21        |
| 4.5      | <i>Desenvolvimento de um Modelo RDF/OWL</i>                        | 22        |
| 4.6      | <i>Implementação de um Endpoint SPARQL</i>                         | 23        |
| 4.7      | <i>Testes e Validação</i>  | 24        |
| 4.8      | <i>Documentação</i>  | 24        |
| <b>5</b> | <b>Resultados</b>  | <b>26</b> |
| 5.1      | <i>Integração do WoTPy com Grafos de Conhecimento</i>              | 26        |
| 5.2      | <i>Desempenho do Modelo RDF/OWL</i>                                | 27        |
| 5.3      | <i>Funcionalidade e Benefícios do Endpoint SPARQL</i>              | 27        |
| <b>6</b> | <b>Discussão</b>   | <b>29</b> |
| 6.1      | <i>Análise da Integração do WoTPy com Grafos de Conhecimento</i>   | 29        |
| 6.2      | <i>Impacto do Modelo RDF/OWL na Gestão de Dados IoT</i>            | 30        |
| 6.3      | <i>Funcionalidade e Benefícios do Endpoint SPARQL</i>              | 31        |
| 6.4      | <i>Relevância dos Exemplos Práticos e Casos de Uso</i>             | 32        |

|          |                              |           |
|----------|------------------------------|-----------|
| <b>7</b> | <b>Conclusão . . . . .</b>   | <b>34</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b> | <b>36</b> |

## 1 Introdução

A era digital contemporânea tem sido profundamente influenciada pelo avanço da Internet das Coisas (IoT). Este conceito, primeiro proposto por (ASHTON, 2009), descreve um mundo onde objetos físicos estão interconectados através da Internet, trocando dados e criando uma realidade onde o digital e o físico coexistem. Esta interconexão abrange uma ampla variedade de dispositivos, desde sensores ambientais até eletrodomésticos inteligentes, todos interligados em uma rede digital complexa. A IoT revolucionou a maneira como interagimos com o ambiente ao nosso redor, trazendo inovações significativas para diversas áreas, incluindo saúde, indústria e urbanismo (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

O crescimento da IoT, conforme relatado por (GUBBI *et al.*, 2013), é impulsionado por desenvolvimentos em tecnologias de conectividade, a redução de custos em sensores e dispositivos, e um aumento na capacidade de processamento e análise de dados. Este avanço resultou em aplicações que vão além do âmbito doméstico, impactando setores como a indústria 4.0, cidades inteligentes e saúde digital, transformando a forma como operações e decisões são realizadas nestes campos.

No entanto, este desenvolvimento acelerado também traz desafios consideráveis. Um dos mais críticos, conforme identificado por (VERMESAN; FRIESS, 2013), é a interoperabilidade entre uma vasta gama de dispositivos e sistemas. Esta interoperabilidade é fundamental para realizar o potencial total da IoT, mas a falta dela pode resultar em silos de dados e limitações nas funcionalidades prometidas pela IoT.

Um desafio particularmente importante, como apontado por (AL-FUQAHA *et al.*, 2015), é a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes. Esta questão é crucial devido à heterogeneidade dos dispositivos IoT, que variam em *hardware*, sistemas operacionais, protocolos de comunicação e funcionalidades. A falta de interoperabilidade pode levar a falhas de comunicação entre dispositivos, criando ineficiências e potenciais riscos de segurança.

WoTPy é um arcabouço que implementa o padrão W3C para a Internet das Coisas, padrão também chamado *Web of Things (WoT)*. O arcabouço facilita a comunicação entre dispositivos IoT mas enfrenta limitações na gestão e processamento de dados.

Este trabalho propõe a integração de um *gateway IoT*, implementado usando WoTPy, com grafos de conhecimento para enfrentar essas limitações. A integração com grafos de

conhecimento visa aprimorar a interpretação semântica dos dados, para a eficácia dos sistemas IoT.

O objetivo principal deste trabalho é, portanto, expandir as funcionalidades do WoTPy, utilizando grafos de conhecimento para melhorar a interpretação dos dados na IoT. Ao abordar este problema, espera-se não apenas aumentar a eficiência e a eficácia dos sistemas IoT, mas também abrir caminhos para inovações futuras.

Este trabalho tem relevância prática e teórica para o campo da IoT, contribuindo para superar o desafio da interoperabilidade entre diferentes dispositivos de diferentes fabricantes. As contribuições esperadas incluem melhorias significativas na comunicação entre dispositivos IoT e avanços na interpretação semântica dos dados, capacitando sistemas IoT a tomar decisões automatizadas mais precisas e eficientes.

## 2 Objetivos

### 2.1 *Objetivo Geral*

O objetivo geral deste trabalho foi aprimorar as funcionalidades do WoTPy, integrando-o com grafos de conhecimento para melhorar a interoperabilidade e a interpretação semântica de dados na Internet das Coisas (IoT). Este objetivo envolveu o desenvolvimento de uma solução que não só facilita a comunicação entre dispositivos IoT de diferentes fabricantes, mas também aprimorou a capacidade de análise e interpretação de dados complexos, contribuindo para a evolução e eficiência dos sistemas IoT.

### 2.2 *Objetivos Específicos*

1. Desenvolver e integrar funcionalidades no WoTPy que permitam um gerenciamento e processamento mais eficiente de dados de uma variedade maior de dispositivos IoT.
2. Construir uma metodologia eficaz para integrar o WoTPy com grafos de conhecimento, utilizando as ontologias SSN (*Semantic Sensor Network*) e SOSA (*Sensor, Observation, Sample, and Actuator*) para estruturar os dados.
3. Implementar mecanismos no WoTPy que permitam uma interpretação semântica aprofundada dos dados coletados, transformando dados brutos em informações contextualizadas.
4. Criar um modelo RDF/OWL para representar os dados coletados de dispositivos IoT, facilitando a interoperabilidade e a análise semântica.
5. Configurar um *endpoint* SPARQL que permita consultas complexas e análise de dados dentro dos grafos de conhecimento, aumentando a acessibilidade e a usabilidade dos dados IoT.
6. Conduzir testes para validar a eficácia da integração proposta, assegurando que as melhorias no WoTPy contribuam positivamente para a comunicação e análise de dados na IoT.
7. Criar exemplos de uso e documentação para auxiliar programadores e usuários na implementação do WoTPy em seus projetos de IoT.

Esses objetivos específicos visam abordar as lacunas identificadas nas capacidades atuais do WoTPy, elevando seu desempenho e funcionalidade para atender às demandas crescentes do ecossistema IoT.

### 3 Revisão Bibliográfica

#### 3.1 Fundamentos da Internet das Coisas (IoT)

Conforme descrito por (ASHTON, 2009), o termo “Internet das Coisas” foi cunhado para descrever uma rede onde não apenas os computadores, mas qualquer objeto poderia estar conectado e comunicar-se. Esta ideia evoluiu significativamente, como discutido em obras como a de (GUBBI *et al.*, 2013), que exploram a transição da IoT de um conceito teórico para uma realidade prática, permeando diversos aspectos da vida cotidiana e empresarial.

No setor doméstico, a IoT transformou o conceito de casa inteligente, integrando dispositivos como termostatos, sistemas de segurança e eletrodomésticos, conforme detalhado por (SWAN, 2012). A automação residencial, impulsionada pela IoT, tem melhorado significativamente a conveniência e a eficiência energética em lares modernos.

No contexto industrial, conhecido como Indústria 4.0, a IoT tem um papel crucial, conforme descrito por (LU, 2017). A integração de sensores e máquinas em redes de comunicação avançadas tem permitido uma automação mais sofisticada, manutenção preditiva e otimização de processos.

No setor de saúde, a IoT tem contribuído para o desenvolvimento de soluções de monitoramento de saúde remoto e dispositivos médicos conectados, como destacado por (ISLAM *et al.*, 2015). Essas tecnologias estão revolucionando o cuidado ao paciente, permitindo um acompanhamento mais preciso e contínuo das condições de saúde.

A IoT também tem um papel transformador em tornar as cidades mais inteligentes e sustentáveis, como discutido por (ZANELLA *et al.*, 2014). A implementação de dispositivos IoT em infraestruturas urbanas está facilitando a gestão de tráfego, a otimização de recursos e a melhoria dos serviços públicos.

#### 3.2 Desafios de Interoperabilidade na Internet das Coisas (IoT)

Um dos principais trabalhos que fundamenta esta discussão é o de (MIORANDI *et al.*, 2012), que detalha as complexidades inerentes à interoperabilidade na IoT. Este estudo esclarece como a variedade de padrões e protocolos cria um ambiente desafiador para a integração efetiva de dispositivos IoT. A diversidade tecnológica presente na IoT

exige uma abordagem cuidadosa para garantir que os dispositivos possam comunicar-se e operar harmoniosamente, independente de suas especificações individuais.

Os impactos negativos da falta de interoperabilidade, analisados por (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010), abordam como a incompatibilidade entre dispositivos pode levar a ineficiências operacionais e dificuldades em escalar sistemas IoT. Este problema é particularmente relevante em aplicações de IoT que exigem a integração de múltiplos dispositivos e sistemas para funcionar de maneira eficiente e coordenada.

Além da perspectiva técnica, a interoperabilidade na IoT é também uma questão estratégica, conforme indicado por (KORTUEM *et al.*, 2010). Este estudo ressalta a importância de abordagens colaborativas e padrões abertos para alcançar uma interoperabilidade eficaz. A interoperabilidade não se limita a superar desafios técnicos; ela também desempenha um papel crucial no desenvolvimento e na adoção generalizada de tecnologias IoT. A colaboração entre diferentes *stakeholders* e a adoção de padrões abertos são essenciais para o avanço harmonioso da IoT. Neste contexto, o padrão *W3C-Web of Things* (WoT) emerge como uma solução, buscando estabelecer uma base comum para a comunicação e interação entre dispositivos IoT heterogêneos.

### 3.3 *W3C-Web of Things (WoT) e WoTPy*

Um dos estudos fundamentais para entender o W3C-WoT é o de (KOVATSCH *et al.*, 2023), que apresenta uma análise detalhada do padrão, destacando sua contribuição para a interoperabilidade em sistemas IoT. O W3C-WoT fornece um conjunto de diretrizes e protocolos que facilitam a comunicação entre dispositivos com diferentes arquiteturas e protocolos de comunicação. Este padrão aborda a necessidade crítica de uma linguagem comum em um ambiente caracterizado pela diversidade tecnológica, permitindo que os dispositivos “falem a mesma língua”, independentemente de suas especificações individuais.

Neste cenário, o WoTPy emerge como uma ferramenta valiosa. Como descrito por (García Mangas; Suárez Alonso, 2019), o WoTPy é um *framework* experimental baseado no *Web of Things* (WoT) do *World Wide Web Consortium* (W3C). Ele é projetado para resolver o problema da interoperabilidade entre uma ampla variedade de dispositivos e plataformas, alavancando a *Web* como meio de habilitar a interoperabilidade.



O *framework* do WoTPy destaca-se pela sua flexibilidade e capacidade de integração, apresentado em (ARIGA; NAKANO, 2023). Uma de suas características mais notáveis é a implementação de uma gama abrangente de protocolos de vinculação, como HTTP, *WebSockets*, MQTT e CoAP. Essa versatilidade permite que o WoTPy se comunique eficazmente em diferentes camadas do modelo de computação em névoa (*fog computing*), facilitando a integração de dispositivos IoT em vários níveis de infraestrutura.

Contudo, tanto o WoTPy quanto o padrão W3C-WoT enfrentam desafios e limitações. As áreas que necessitam de desenvolvimento adicional incluem a gestão eficiente de uma vasta quantidade de dados gerados por dispositivos IoT e a integração de dispositivos com diferentes protocolos e padrões de comunicação. Estes desafios destacam a necessidade contínua de pesquisa e desenvolvimento para aprimorar a interoperabilidade na IoT.

### 3.4 Grafos de Conhecimento na IoT

A integração de grafos de conhecimento na Internet das Coisas (IoT) oferece um método estruturado para representar e analisar as relações complexas entre dispositivos, dados e interações em ambientes IoT. Inicialmente, a pesquisa de (TSIATSIS; KARNOUSKOS; HÖLLER, 2018) fornece uma base para compreender a relevância dos grafos de conhecimento na IoT. Em seu estudo, eles examinam como os grafos de conhecimento podem ser utilizados para melhorar a gestão e a interpretação de dados em sistemas IoT. Este trabalho destaca a flexibilidade dos grafos de conhecimento na representação de relações complexas e na facilitação de uma compreensão mais profunda das interações entre dispositivos e dados.

A contribuição de ontologias específicas, como SSN (*Semantic Sensor Network*) e SOSA (*Sensor, Observation, Sample, and Actuator*), na IoT é explorada por (COMPTON *et al.*, 2012). Eles discutem como essas ontologias proporcionam uma estrutura semântica para dados IoT, melhorando assim a interpretação e a aplicabilidade desses dados em diferentes contextos. A adoção dessas ontologias é essencial para padronizar a comunicação de dados e facilitar a interoperabilidade entre dispositivos IoT.

Por fim, os desafios e as soluções na implementação de grafos de conhecimento em sistemas IoT são discutidos por (SOLDATOS *et al.*, 2015). Eles apresentam uma perspectiva crítica sobre as barreiras técnicas enfrentadas, como a integração de dados

heterogêneos e a necessidade de adotar padrões uniformes. O estudo também destaca estratégias para superar essas barreiras, sublinhando a importância de ferramentas e padrões adequados para a integração eficaz de grafos de conhecimento na IoT.

## 4 Metodologia

### 4.1 Introdução à Metodologia

No desenvolvimento do presente trabalho, foi adotada uma abordagem que articula conceitos e técnicas da engenharia de *software*, ciência da computação e tecnologias semânticas e fim de lidar com a complexidade inerente à integração de WoTPy com grafos de conhecimento.

Do ponto de vista da engenharia de *software*, a metodologia empregada enfatiza o desenvolvimento sistemático e a integração eficaz de sistemas. Esse aspecto do projeto envolve o planejamento detalhado, a definição de requisitos, a modelagem da arquitetura de *software*, o desenvolvimento de código e a execução de testes. A aplicação dessas práticas de engenharia de *software* permite que a solução desenvolvida seja robusta, escalável e adira altos padrões de qualidade, estando alinhada com as melhores práticas e padrões contemporâneos da indústria.

No âmbito da ciência da computação, a metodologia emprega fundamentos teóricos e técnicos para o tratamento de dados e a implementação de algoritmos capazes de manipular grafos de conhecimento. Isso inclui aprofundar-se em estruturas de dados complexas, algoritmos de processamento e análise de dados. Estes elementos são fundamentais para gerenciar a vasta quantidade de dados gerados pelos dispositivos IoT, garantindo processamento e análise eficientes.

As tecnologias semânticas, particularmente as ontologias SSN (*Semantic Sensor Network*) e SOSA (*Sensor, Observation, Sample, and Actuator*), são fundamentais para a interpretação semântica dos dados IoT. Estas tecnologias permitem a modelagem e representação dos dados de forma que seu significado seja compreensível tanto para humanos quanto para máquinas. A utilização de RDF (*Resource Description Framework*) e OWL (*Web Ontology Language*), complementada por consultas SPARQL, facilita a criação de grafos de conhecimento que representam e inferem informações de maneira eficaz a partir dos dados IoT.

## 4.2 Análise de Requisitos

A análise de requisitos adotada para a integração do WoTPy com grafos de conhecimento, envolve a identificação e análise dos requisitos funcionais e não funcionais, para garantir a eficácia e a eficiência da solução proposta.

- **Requisitos Funcionais:**

1. **Integração de Dados:** A capacidade do WoTPy de integrar dados de uma variedade de dispositivos IoT. Isso inclui o manejo de diferentes protocolos e formatos de dados, garantindo uma comunicação fluida e precisa entre dispositivos heterogêneos.
2. **Implementação de Grafos de Conhecimento:** O desenvolvimento de um sistema capaz de criar e gerenciar grafos de conhecimento. Estes grafos devem representar as relações e propriedades dos dispositivos IoT, fornecendo uma base sólida para a análise e interpretação de dados.
3. **Processamento de Consultas:** O sistema deve ser equipado com a funcionalidade de processar consultas SPARQL, permitindo a extração eficiente de informações relevantes dos grafos de conhecimento.
4. **Interpretação Semântica:** O WoTPy deve ser capaz de interpretar dados semânticos, utilizando ontologias como SSN e SOSA.
5. **Interface de Usuário:** O desenvolvimento de uma interface de usuário, que facilite a interação com o sistema de grafos de conhecimento, tornando-o acessível para usuários.

- **Requisitos Não Funcionais:**

1. **Escalabilidade:** O sistema deve ser projetado para escalar eficientemente, de modo a acomodar o crescimento contínuo no número de dispositivos e na quantidade de dados na rede IoT.
2. **Desempenho:** Alta performance, especialmente na manipulação e consulta dos grafos de conhecimento. O sistema deve garantir tempos de resposta rápidos e eficientes.
3. **Segurança:** É necessário implementar medidas de segurança para proteger os dados IoT e as operações de consulta, assegurando a integridade e a confidencialidade dos dados.

4. **Confiabilidade:** O sistema deve ser confiável, fornecendo informações precisas e consistentes, essenciais para a tomada de decisões baseadas em dados.
5. **Manutenibilidade:** A facilidade de manutenção e a capacidade de atualizar o sistema são cruciais para se adaptar a novos requisitos e tecnologias emergentes na área de IoT.

### 4.3 Desenvolvimento de Grafos de Conhecimento

Neste projeto, a construção de grafos de conhecimento na Internet das Coisas (IoT) é abordada através de uma metodologia que combina ontologias padronizadas e técnicas de modelagem. A utilização de ontologias como *Semantic Sensor Network* (SSN) e *Sensor, Observation, Sample, and Actuator* (SOSA) é crucial na estruturação de dados oriundos de dispositivos IoT. Estas ontologias são escolhidas por sua capacidade de representar de maneira abrangente e coerente os dados de sensores e atuadores. Este enfoque é suportado por estudos como o de (COMPTON *et al.*, 2012) e (HALLER *et al.*, 2017), que discutem a aplicação de ontologias para melhorar a semântica e a utilidade dos dados na IoT.

A modelagem dos grafos de conhecimento inicia com a definição de entidades, tais como dispositivos, sensores e atuadores, e as relações entre eles. Esta etapa envolve a identificação detalhada de como estas entidades interagem entre si e com o ambiente IoT. A aplicação das ontologias SSN e SOSA ajuda a categorizar e relacionar as entidades de forma a refletir suas funções e interações reais dentro do ecossistema IoT. Posteriormente, cria-se o esquema de grafo que serve como um modelo para a estruturação dos dados no grafo de conhecimento. Este esquema é vital para garantir que todas as informações sejam organizadas de maneira lógica e eficiente, conforme discutido por (HITZLER *et al.*, 2010).

Para a implementação dos grafos de conhecimento, são empregadas ferramentas como o *Resource Description Framework* (RDF) e a *Web Ontology Language* (OWL). Estas tecnologias são fundamentais para criar modelos semânticos robustos que possam representar com precisão os dados da IoT. A inserção de dados no grafo envolve a conversão de dados brutos dos dispositivos IoT para o formato compatível com o modelo RDF/OWL, um processo que garante a integridade semântica dos dados, conforme descrito por (ANTONIOU; HARMELEN, 2004). Após a inserção dos dados, uma validação é realizada para assegurar que a representação no grafo esteja semanticamente correta e consistente com as ontologias aplicadas, um processo destacado por (CORCHO; FERNÁNDEZ-LÓPEZ;

GÓMEZ-PÉREZ, 2003). Finalmente, os grafos de conhecimento são integrados com o WoTPy, desenvolvendo interfaces e mecanismos que facilitam a comunicação entre o sistema de grafos e o *gateway* IoT.

#### 4.4 Integração do WoTPy com Grafos de Conhecimento

A integração do WoTPy com grafos de conhecimento, está exemplificado no código disponível no repositório GitHub <sup>1</sup>. Esta integração envolve várias etapas técnicas, incluindo a configuração do grafo de conhecimento, definição de dispositivos IoT (*Things*), além da implementação de *handlers* e corotinas para a leitura e escrita de dados.

Inicialmente, o grafo de conhecimento é configurado utilizando as bibliotecas *rdflib* e *rdflib.plugins.stores*, com o *backend* BerkeleyDB, para o mecanismo de persistência. Este grafo armazena informações semânticas de dispositivos IoT, empregando ontologias SSN e SOSA para uma estruturação coerente dos dados. Esta configuração é necessária para armazenar e gerenciar informações semânticas, estabelecendo uma base para dados significativos e interconectados.

Na definição do “*Thing*” no WoTPy, um dispositivo IoT específico é descrito com suas propriedades e funcionalidades. Esta definição é essencial para a integração do dispositivo com o grafo de conhecimento, permitindo que o dispositivo e suas métricas sejam adequadamente representados e gerenciados dentro do sistema.

Para a interação com o grafo de conhecimento, um servidor Tornado é implementado para gerenciar as requisições SPARQL. Estes *handlers* são fundamentais para permitir consultas e interações com o grafo de conhecimento, facilitando a extração e análise de informações semânticas armazenadas.

Notavelmente, quando os dados são gravados, as informações correspondentes são adicionadas ao grafo de conhecimento como novas observações de forma persistente. Isso integra os dados do sensor ao grafo, permitindo uma análise mais contextualizada dos dados.

Além disso, o grafo de conhecimento é capaz de serializar e exibir os dados no formato Turtle, o que facilita a visualização e verificação da estrutura dos dados e das relações semânticas. A integração do WoTPy com o grafo de conhecimento é finalizada

<sup>1</sup> [https://github.com/T16K/wot-py/blob/develop/examples/uv\\_sensor/server.py](https://github.com/T16K/wot-py/blob/develop/examples/uv_sensor/server.py)

com a inicialização do servidor e a configuração para expor o “Thing” definido, juntamente com a ativação do servidor HTTP personalizado e do servidor SPARQL.

A comunicação entre o WoTPy e o grafo de conhecimento ocorre através das operações de leitura e escrita de dados e das consultas SPARQL. Esta integração permite que o WoTPy não apenas reaja aos dados dos sensores, mas também acesse e utilize dados semânticos para análises mais informadas e decisões baseadas em dados. Este processo de integração, demonstra a expansão das capacidades para além da coleta de dados e possibilitando uma interpretação semântica e interações com dispositivos IoT.

#### 4.5 Desenvolvimento de um Modelo RDF/OWL

No cerne da integração do WoTPy com grafos de conhecimento, está a definição de entidades e relações usando RDF (*Resource Description Framework*) e OWL (*Web Ontology Language*). Estas tecnologias são empregadas para definir entidades como sensores, atuadores e suas observações, estabelecendo uma base para dados semânticos estruturados. A utilização de RDF e OWL possibilita a criação de classes e propriedades que representam de maneira fiel os dispositivos IoT e suas interações. Esta modelagem é crucial, pois estabelece a estrutura para a representação de dados de sensores e atuadores na IoT, permitindo uma análise aprofundada e uma gestão eficiente dos dados.

As ontologias padrão (SSN e SOSA) são escolhidas por serem amplamente reconhecidas e adotadas para descrever sensores e suas observações na IoT. Elas oferecem um vocabulário extenso e uma estrutura que facilita a representação de dados de sensores e atuadores de maneira coerente e padronizada. A aplicação dessas ontologias é importante na construção do modelo RDF/OWL, pois fornece um *framework* para a representação semântica.

Além da modelagem semântica, a integração do modelo RDF/OWL com o WoTPy é realizada de forma a permitir que o sistema gerencie e manipule os dados de forma semântica. Isso é alcançado através da integração do modelo RDF/OWL ao grafo de conhecimento gerenciado pelo RDFLib. As informações sobre os dispositivos IoT e suas observações são armazenadas no grafo, e o WoTPy é configurado para acessar e manipular esses dados. A interface de comunicação, facilitada pela interface SPARQL e pelas corotinas

de leitura e escrita, permite que o WoTPy interaja com o grafo de conhecimento, realizando consultas e atualizações nos dados conforme necessário.

#### 4.6 Implementação de um Endpoint SPARQL

A criação de um *endpoint* SPARQL, como parte integrante do projeto, envolve a configuração de um servidor *web*, a implementação de um *handler* específico para SPARQL e o desenvolvimento de funcionalidades que permitem a execução e o retorno de consultas SPARQL, além de sua integração com o WoTPy.

Utilizando o *framework* Tornado, foi configurado um servidor *web* para hospedar o endpoint SPARQL. Este servidor desempenha um papel de gerenciamento de requisições HTTP associadas a consultas SPARQL, para a interação baseada em SPARQL. A implementação de um *handler* específico, é responsável por receber consultas SPARQL, executá-las no grafo de conhecimento e retornar os resultados em um formato apropriado, como JSON, facilitando a interpretação e a integração com outras plataformas.

As funcionalidades do endpoint SPARQL incluem a execução de consultas SPARQL, permitindo que usuários ou sistemas enviem requisições que são processadas para extrair informações específicas do grafo de conhecimento. Esta capacidade permite a realização de consultas, envolvendo múltiplas entidades e relações. Além disso, os resultados dessas consultas são serializados em formatos padrão, como JSON ou XML, o que garante a compatibilidade e a facilidade de integração com uma variedade de aplicações e sistemas de análise de dados.

Esta integração permite que os dados coletados por dispositivos IoT sejam consultados de maneira semântica, enriquecendo as capacidades analíticas do WoTPy. Além disso, à medida que novos dados são coletados e registrados pelo WoTPy, eles são automaticamente disponibilizados para consulta no endpoint SPARQL, assegurando que as informações mais recentes estejam acessíveis.

Adicionalmente, o *endpoint* SPARQL facilita a integração do WoTPy com aplicações ou sistemas externos, ampliando o escopo de utilização dos dados IoT. Esta integração torna possível a utilização de dados IoT em diversos contextos, desde monitoramento ambiental até automação residencial, demonstrando a versatilidade e a aplicabilidade prática do sistema.



### 4.7 Testes e Validação

Dentro do escopo deste projeto, que visa a integração do WoTPy com grafos de conhecimento na Internet das Coisas (IoT), uma série de testes de funcionalidade foi planejada e executada. Estes testes foram necessários para assegurar a integração e o funcionamento correto do sistema como um todo, abrangendo desde a validação da integração entre os componentes até a verificação da precisão das consultas SPARQL e da funcionalidade da interface de usuário.

Um dos aspectos testados é a validação da integração entre o WoTPy e os grafos de conhecimento. Este teste foca em garantir que os dados coletados dos dispositivos IoT, bem como as observações geradas, sejam corretamente inseridos e recuperados do grafo de conhecimento. Dessa forma, é possível confirmar que o sistema não apenas coleta, mas também processa e armazena dados de forma precisa.

Outro teste crucial é o das consultas SPARQL realizadas pelo *endpoint*. Aqui, o objetivo é verificar se as consultas SPARQL são executadas corretamente, retornando resultados precisos. Este teste é importante para assegurar que o endpoint SPARQL funcione como esperado, fornecendo acesso aos dados semânticos armazenados no grafo de conhecimento.

Por fim, alguns testes são realizados na interface de usuário. Estes testes envolvem avaliar se as funcionalidades fornecidas pela interface de usuário estão operando conforme o esperado. É crucial que a interface de usuário seja intuitiva e funcional, permitindo que os usuários interajam eficazmente com o sistema, realizem consultas e visualizem dados de forma acessível.

### 4.8 Documentação

A estrutura da documentação deste sistema é planejada para fornecer uma visão abrangente e instruções práticas, facilitando a compreensão e a implementação do sistema por usuários e desenvolvedores.

A visão geral do sistema foi apresentado no GitHub <sup>2</sup>, delineando o propósito do sistema, os componentes-chave e como eles interagem entre si. Esta seção oferece um panorama do WoTPy, dos grafos de conhecimento e da integração SPARQL, estabelecendo

<sup>2</sup> [https://github.com/T16K/wot-py/blob/develop/examples/uv\\_sensor](https://github.com/T16K/wot-py/blob/develop/examples/uv_sensor)

um contexto claro para os usuários e fornecendo uma compreensão básica do funcionamento geral do sistema.

O guia de instalação e configuração fornece passos detalhados para a instalação e configuração do sistema. Esta seção inclui informações sobre os requisitos de *software* necessários, a configuração do ambiente de desenvolvimento e a inicialização dos serviços relacionados.

Na seção de explicação dos componentes principais, os usuários encontram descrições detalhadas dos principais componentes do sistema, como o modelo RDF/OWL, o *endpoint* SPARQL e a interação entre o WoTPy e o grafo de conhecimento. Esta parte da documentação é crucial para fornecer uma compreensão aprofundada de cada componente, explicando sua funcionalidade, importância e como eles se integram dentro do sistema.

Para ilustrar a aplicabilidade do sistema, é apresentado um exemplo prático. Este cenário detalha como o sistema pode ser utilizado, por exemplo, para monitorar e analisar dados de um sensor UV em um ambiente IoT ([ARIGA; MARUYAMA, 2022](#)), além de demonstrar a configuração do WoTPy, a criação e consulta de grafos de conhecimento e a integração em um cenário de IoT real. Adicionalmente, as instruções guiam o usuário através da execução do exemplo, desde a configuração inicial até a análise dos resultados.

## 5 Resultados

### 5.1 Integração do WoTPy com Grafos de Conhecimento

A integração do WoTPy com grafos de conhecimento na Internet das Coisas (IoT) foi realizada através de uma série de etapas, começando com a configuração de um grafo de conhecimento e culminando na melhoria da interpretação semântica e na interoperabilidade dos dados.

Inicialmente, o grafo de conhecimento foi configurado utilizando RDFLib, e BerkeleyDB para o mecanismo de persistência. Esta configuração foi fundamentada nas ontologias SSN (*Semantic Sensor Network*) e SOSA (*Sensor, Observation, Sample, and Actuator*), que forneceram uma estrutura semântica para representar dados de dispositivos IoT.

Dentro do contexto do WoTPy, foi desenvolvido um “*Thing*” que representava um sensor UV. Este “*Thing*” foi definido com propriedades e funcionalidades em conformidade com o modelo RDF/OWL, integrando-o efetivamente ao grafo de conhecimento. Essa integração permitiu que os dados coletados fossem automaticamente registrados e semantizados no grafo, tornando-os acessíveis para consultas e análises subsequentes.

A modelagem do grafo de conhecimento envolveu a definição detalhada de classes, propriedades e relações dentro do RDF/OWL para representar os elementos do IoT, como sensores e suas leituras. Essa modelagem foi importante para criar uma base de dados para a interpretação e análise dos dados.

Além disso, a implementação de um *endpoint* SPARQL dentro de um servidor Tornado proporcionou um meio eficiente de acessar e interagir com os dados semânticos armazenados no grafo de conhecimento. Através deste *endpoint*, foi possível realizar consultas complexas, facilitando assim a análise aprofundada dos dados coletados dos dispositivos IoT.

Os benefícios da integração do WoTPy com os grafos de conhecimento são significativos. Um dos principais benefícios é a melhoria na interpretação semântica dos dados. Com a implementação do modelo RDF/OWL e a utilização das ontologias SSN e SOSA, o sistema foi capaz de ir além do simples armazenamento de dados, permitindo uma compreensão profunda de suas relações e significados. Esta interpretação semântica dos dados coletados dos dispositivos IoT permite uma análise mais contextual e detalhada,

para a tomada de decisões informadas e para o desenvolvimento de aplicações IoT mais inteligentes e responsivas.

Além disso, o sistema desenvolvido demonstrou capacidades analíticas de realizar consultas e extrair relações dos dados IoT. Esta capacidade analítica é uma melhoria significativa em relação ao WoTPy padrão, permitindo que o sistema não apenas colete dados, mas também os analise de forma mais eficiente e informativa.

## 5.2 Desempenho do Modelo RDF/OWL

A implementação do modelo RDF/OWL no contexto deste projeto de integração com o WoTPy na Internet das Coisas (IoT) apresentou resultados notáveis, destacando-se pela representação de dados e pela capacidade de execução de consultas SPARQL.

A implementação mostrou uma capacidade de representar com precisão os dados dos dispositivos IoT. As entidades e relações definidas no grafo de conhecimento refletiram as características e as interações dos dispositivos, como sensores e atuadores. Este modelo não só facilitou a organização e o armazenamento de dados, mas também tornou-os mais acessíveis e interpretáveis. A estruturação dos dados em um formato semântico permitiu uma representação mais detalhada dos dispositivos e suas interações. As consultas processadas pelo sistema foram capazes de extrair informações, demonstrando a eficiência do modelo RDF/OWL.

## 5.3 Funcionalidade e Benefícios do Endpoint SPARQL

A funcionalidade do *endpoint* SPARQL, demonstrou ser funcional. Esta eficácia foi validada não apenas pela execução bem-sucedida de consultas, mas também pela facilidade de acesso e análise dos dados, bem como pela melhoria na análise semântica de dados.

A funcionalidade do *endpoint* SPARQL foi validada através da execução de várias consultas. Por exemplo, uma das consultas realizadas buscou extrair as médias de leituras de sensores durante um período específico. Esta consulta não só demonstrou a capacidade do *endpoint* de lidar com agregações e filtragens, mas também ilustrou sua habilidade em processar e retornar informações significativas. Estas análises forneceram uma compreensão

aprofundada dos dados coletados, revelando informações valiosas que poderiam ser aplicadas para otimizar o desempenho dos dispositivos e aprimorar a tomada de decisões.

A interface intuitiva para consultas no *endpoint* SPARQL, tornou a realização de consultas complexas acessível até mesmo para usuários com conhecimento técnico limitado. Esta acessibilidade transformou o sistema, tornando-o mais amigável e aumentando significativamente a usabilidade dos dados IoT. Ao simplificar o acesso aos dados e permitir a realização de consultas avançadas de maneira fácil, o sistema abriu novas possibilidades para uma variedade de usuários, desde especialistas em dados até usuários finais interessados em informações específicos de IoT.

## 6 Discussão

### 6.1 *Análise da Integração do WoTPy com Grafos de Conhecimento*

A implementação de um modelo RDF/OWL, em conjunto com as ontologias SSN e SOSA, na integração do WoTPy com grafos de conhecimento, trouxe melhorias significativas na interpretação semântica dos dados na Internet das Coisas (IoT). Esta abordagem avançou além da simples coleta e armazenamento de dados, proporcionando uma compreensão mais contextualizada. Com esta integração, os dados coletados dos sensores IoT não se limitam a aspectos quantitativos; eles também adquirem uma dimensão qualitativa, permitindo inferências mais detalhadas.

Um dos avanços mais notáveis foi na interoperabilidade dos dispositivos IoT. A integração com grafos de conhecimento superou barreiras significativas relacionadas à interoperabilidade. Através do WoTPy, dispositivos de diferentes fabricantes, operando sob diferentes protocolos de comunicação, podem agora interagir de maneira mais eficaz. A padronização dos dados no formato RDF/OWL criou um meio comum de comunicação, facilitando a interação entre sistemas heterogêneos e minimizando os desafios comuns de incompatibilidade entre dispositivos.

Além disso, houve um impacto substancial na gestão de dados IoT. A capacidade de gerenciar os dados gerados em ambientes IoT foi significativamente aprimorada. O uso de grafos de conhecimento ofereceu uma maneira mais eficiente e organizada de lidar com, consultar e analisar esses dados. As consultas SPARQL, habilitadas pelo *endpoint* SPARQL, se tornaram uma ferramenta poderosa para extrair informações complexas dos dados IoT. Antes, essa tarefa era desafiadora devido à natureza não estruturada e dispersa dos dados IoT. Com a capacidade de realizar consultas semânticas complexas, foi possível obter informações mais profundas e relevantes, transformando efetivamente a maneira como os dados IoT são utilizados e analisados.

A integração do WoTPy com grafos de conhecimento e a implementação do modelo RDF/OWL contribuíram significativamente para o campo da IoT. Este avanço não apenas resolveu problemas técnicos específicos, mas também impulsionou o desenvolvimento teórico e prático na área. Estabeleceu um precedente importante para futuras pesquisas e desenvolvimentos, indicando o potencial significativo de aplicar conceitos da Web Semântica em sistemas IoT, abrindo novos caminhos e possibilidades de exploração.

Contudo, a integração também apresentou novos desafios e perspectivas futuras. Um dos desafios emergentes é a necessidade de manter a segurança dos dados semânticos, especialmente considerando a natureza sensível e, muitas vezes, crítica dos dados IoT. Além disso, o gerenciamento eficiente de grafos de conhecimento em larga escala continua sendo uma área que requer atenção e inovação contínuas.

O sucesso dessa integração abre caminho para futuras explorações, como a aplicação de inteligência artificial e aprendizado de máquina em dados IoT semânticos. Isso poderia automatizar e otimizar ainda mais a tomada de decisão em ambientes IoT, melhorando a eficiência, a precisão e a capacidade de resposta dos sistemas IoT. A integração do WoTPy com grafos de conhecimento, portanto, não apenas marca um avanço significativo no presente, mas também sinaliza um futuro promissor e inovador para o campo da IoT.

## 6.2 *Impacto do Modelo RDF/OWL na Gestão de Dados IoT*

A implementação do modelo RDF/OWL na gestão de dados na Internet das Coisas (IoT) representou um salto qualitativo tanto na precisão quanto no enriquecimento semântico dos dados, abrindo novas perspectivas para análises mais profundas e aplicações inovadoras em diversos contextos da IoT.

Essa abordagem de estruturação e contextualização de dados, através do modelo RDF/OWL, possibilitou uma representação de dados IoT mais precisa em comparação com os modelos tradicionais. Através da atribuição de significados claros e contextos específicos a cada informação, o modelo superou as limitações que frequentemente levam a interpretações ambíguas ou incompletas. Além disso, ao tornar as relações entre diferentes entidades e dados explícitas e bem definidas, o modelo RDF/OWL não apenas melhorou a precisão dos dados, mas também facilitou a identificação de padrões e correlações que anteriormente poderiam passar despercebidos.

O enriquecimento semântico proporcionado pelo modelo foi além da apresentação de métricas numéricas, integrando informações qualitativas e contextuais. Essa transformação dos dados brutos em informações com múltiplas camadas de significado criou uma base mais rica para análises e decisões informadas. A flexibilidade do modelo em representar diversas ontologias e vocabulários permitiu uma modelagem de dados mais adaptável e inclusiva, acomodando uma vasta gama de tipos de dispositivos e cenários na IoT.

A capacidade de realizar consultas complexas e precisas com SPARQL no modelo RDF/OWL abriu novos caminhos para análises mais profundas e detalhadas, especialmente relevantes em aplicações IoT que exigem monitoramento contínuo e tomada de decisões baseadas em dados complexos e variados. Além disso, a riqueza semântica e a precisão dos dados modelados com RDF/OWL ofereceram um terreno fértil para aplicações avançadas de inteligência artificial e *machine learning*, fornecendo dados estruturados e semânticos para treinar modelos mais precisos e eficazes.

### 6.3 Funcionalidade e Benefícios do Endpoint SPARQL

A capacidade de execução de consultas, proporcionada pelo endpoint SPARQL no contexto da Internet das Coisas (IoT), marcou um avanço significativo na maneira como os dados são acessados, analisados e utilizados. Esta eficiência é refletida na capacidade de processamento de consultas, na facilitação do acesso aos dados semânticos e nos benefícios gerais que o endpoint SPARQL trouxe para a análise de dados e a eficiência operacional em diversos cenários práticos.

O endpoint SPARQL demonstrou uma capacidade notável de processar consultas, um aspecto fundamental para a análise aprofundada de dados IoT. Esta capacidade incluiu a habilidade de executar consultas que envolviam múltiplas variáveis, filtros e funções agregadas. Estes resultados evidenciaram a habilidade do endpoint em extrair informações específicas e detalhadas dos grafos de conhecimento, transformando dados brutos em conhecimento aplicável e acionável.

A interface de usuário intuitiva do endpoint SPARQL tornou os dados semânticos acessíveis a um público mais amplo, incluindo usuários com pouco conhecimento técnico em consultas SPARQL. Isso democratizou o acesso aos dados, permitindo que uma gama mais ampla de usuários se beneficiasse das informações disponíveis. Além disso, a capacidade de extrair dados de forma flexível e personalizada através do endpoint SPARQL facilitou a integração com outras plataformas e sistemas. Isso provou ser benéfico para aplicações que requerem a combinação de dados IoT com outras fontes de dados para análises complexas e tomadas de decisão informadas.

A implementação do endpoint SPARQL melhorou significativamente a capacidade de análise dos dados IoT. Os usuários puderam realizar consultas que iam além das



capacidades de sistemas de gestão de dados tradicionais, explorando a riqueza semântica e a complexidade dos dados IoT. Esta melhoria na análise de dados teve implicações práticas significativas, contribuindo para a eficiência operacional em cenários como o monitoramento ambiental ou a automação residencial. As análises realizadas através do endpoint SPARQL permitiram a otimização de processos e sistemas, resultando em um uso mais eficiente dos recursos e na melhoria da qualidade de vida ou produção.

#### 6.4 Relevância dos Exemplos Práticos e Casos de Uso

A aplicação prática do WoTPy e dos grafos de conhecimento em um contexto de monitoramento ambiental, exemplificado pelo caso de uso de um sensor UV, demonstra de forma eficaz como a tecnologia IoT pode ser empregada para coletar, analisar semanticamente e utilizar dados para fornecer informações relevantes. Este exemplo, com foco específico na radiação UV, ressalta a capacidade dos sistemas IoT em monitorar condições ambientais, oferecendo informações cruciais para a saúde pública e a segurança ambiental, como desenvolvido em (ARIGA; MARUYAMA, 2022).

No caso do sensor UV, a tecnologia é aplicada para monitorar a radiação UV, uma informação essencial para a avaliação de condições ambientais que podem afetar a saúde humana. A coleta e análise semântica dos dados permitem não apenas a identificação de padrões de variação UV, mas também o reconhecimento de condições ambientais potencialmente perigosas. Esta aplicação é particularmente relevante para áreas voltadas para a saúde pública e segurança ambiental, onde a detecção rápida e precisa de condições adversas é fundamental.

Além disso, o exemplo do sensor UV ilustra a interoperabilidade facilitada pelo WoTPy, permitindo a integração eficaz de dispositivos de diferentes fabricantes. Isso supera um desafio comum na IoT, onde a falta de interoperabilidade pode limitar a eficácia dos sistemas. A análise de dados é igualmente aprimorada pelo uso de grafos de conhecimento. Estes grafos permitem a realização de consultas complexas e a extração de insights detalhados, que seriam desafiadores ou impossíveis com abordagens tradicionais de análise de dados.

O caso de uso do sensor UV também serve como um recurso educacional valioso, especialmente detalhado no README <sup>1</sup> do projeto. Ele oferece a desenvolvedores e

<sup>1</sup> ([https://github.com/T16K/wot-py/blob/develop/examples/uv\\_sensor/README.md](https://github.com/T16K/wot-py/blob/develop/examples/uv_sensor/README.md))

estudantes interessados em IoT uma oportunidade de entender melhor a integração de tecnologias como WoTPy e grafos de conhecimento. Trabalhando com esses exemplos, os usuários podem desenvolver habilidades práticas em áreas como modelagem de dados semânticos, programação IoT e análise de dados, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades relevantes no campo crescente da IoT.

Além de seu valor educacional, o exemplo do sensor UV pode inspirar inovações e novas aplicações na IoT. A demonstração do potencial de combinar tecnologias emergentes para criar soluções inovadoras e eficazes pode estimular a imaginação de desenvolvedores e pesquisadores. Também fornece insights sobre áreas que necessitam de mais pesquisa e desenvolvimento, incentivando a comunidade científica a explorar novos horizontes na IoT.

## 7 Conclusão

A integração do WoTPy com grafos de conhecimento na Internet das Coisas (IoT) representa uma evolução significativa na análise de dados, na interoperabilidade entre dispositivos e na personalização e contextualização de soluções IoT. Esta integração abre novas possibilidades para aplicações mais inteligentes e eficientes, ao mesmo tempo em que impulsiona inovações e contribui para o desenvolvimento de padrões e protocolos em IoT.

Um dos principais avanços proporcionados por esta integração é o enriquecimento da análise de dados. Ao utilizar grafos de conhecimento, os dados coletados de dispositivos IoT podem ser interpretados não apenas em termos quantitativos, mas também qualitativos. Isso oferece uma compreensão mais profunda e contextualizada dos dados, permitindo aplicações que podem responder de maneira mais precisa e eficiente a condições variáveis. Tal capacidade de análise enriquecida abre caminho para soluções IoT que são mais inteligentes e adaptáveis às necessidades específicas dos usuários.

Outro avanço significativo é a facilitação da interoperabilidade em IoT. Tradicionalmente, um dos maiores desafios em IoT é a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes e plataformas. A integração do WoTPy com grafos de conhecimento aborda eficientemente esse desafio, promovendo uma comunicação mais fluida e eficaz entre dispositivos heterogêneos. Isso simplifica não apenas o desenvolvimento de sistemas IoT, mas também melhora a experiência do usuário final.

Além disso, a integração impulsiona a personalização e contextualização em IoT. As soluções desenvolvidas podem ser profundamente personalizadas e contextualizadas para as necessidades específicas dos usuários, graças à análise semântica profunda proporcionada pelos grafos de conhecimento. Essa capacidade de adaptar-se ao contexto específico de uso é crucial para aplicações que exigem um alto grau de personalização.

Esta integração também abre portas para novas aplicações IoT, especialmente em áreas que exigem análises complexas e adaptação a contextos dinâmicos. Cidades inteligentes, saúde digital, agricultura inteligente e automação residencial são apenas alguns exemplos de áreas que podem se beneficiar imensamente dessa integração. A capacidade de analisar dados IoT em um nível semântico também fomenta inovações em inteligência artificial e aprendizado de máquina, onde a interpretação contextualizada dos dados é essencial.

Adicionalmente, a integração pode levar a um aumento da eficiência e redução de custos em sistemas IoT. Melhorar a interoperabilidade e fornecer análises mais profundas pode resultar em sistemas mais eficientes, reduzindo os custos operacionais e de manutenção e melhorando a eficiência energética dos dispositivos.

Por fim, a integração contribui para a evolução dos padrões e protocolos em IoT, sugerindo um modelo para a incorporação de tecnologias de dados semânticos em sistemas IoT existentes e futuros. Contudo, também traz desafios, como a gestão eficaz dos grafos de conhecimento em grande escala e a garantia de segurança e privacidade dos dados, que são campos importantes para pesquisas e desenvolvimentos futuros.

## Referências

- AL-FUQAHA, A.; GUIZANI, M.; MOHAMMADI, M.; ALEDHARI, M.; AYYASH, M. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7123563>. Citado na página 10.
- ANTONIOU, G.; HARMELEN, F. *Web Ontology Language: OWL*. MIT Press, 2004. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-24750-0\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-24750-0_4). Citado na página 20.
- ARIGA, G. T.; MARUYAMA, L. *Protetor Solar*. 2022. Disponível em: <https://github.com/T16K/ACH2157>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 32.
- ARIGA, G. T.; NAKANO, F. *WotPy: Solução de Problemas e Exemplo de Uso*. 2023. Disponível em: <https://github.com/T16K/ACH2017-ACH2018/blob/main/Monografia%20ACH2017/main.pdf>. Citado na página 16.
- ASHTON, K. That ‘internet of things’ thing. *RFID Journal*, 2009. Disponível em: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 14.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer Networks*, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001568>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 15.
- COMPTON, M.; BARNAGHI, P.; BERMUDEZ, L.; GARCÍA-CASTRO, R.; CORCHO, O.; COX, S. The ssn ontology of the w3c semantic sensor network incubator group. *Journal of Web Semantics*, v. 17, p. 25–32, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570826812000571>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 20.
- CORCHO, O.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A. Ontologies and the semantic web. *Journal on Data Semantics I*, Springer, p. 158–181, 2003. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-39718-2\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-39718-2_7). Citado na página 21.
- García Mangas, A.; Suárez Alonso, F. J. Wotpy: A framework for web of things applications. *Computer Communications*, v. 147, p. 235–251, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366419304633>. Citado na página 15.
- GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 14.
- HALLER, A.; JANOWICZ, K.; COX, S. J.; PHUOC, D. L.; TAYLOR, K.; LEFRANÇOIS, M. Semantic sensor network ontology. *W3C Recommendation*, 2017. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/>. Citado na página 20.

- HITZLER, P.; KRÖTZSCH, M.; RUDOLPH, S.; SURE, Y. *Semantic Web: Grundlagen*. Springer, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-33994-6>. Citado na página 20.
- ISLAM, S. R.; KWAK, D.; KABIR, M. H.; KABIR, H.; KWAK, K.-S. The internet of things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, v. 3, p. 678–708, 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7113786>. Citado na página 14.
- KORTUEM, G.; KAWSAR, F.; SUNDRAMOORTHY, V.; FITTON, D. Smart objects as building blocks for the internet of things. *IEEE Internet Computing*, v. 14, n. 1, p. 44–51, 2010. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5342399>. Citado na página 15.
- KOVATSCH, M.; MATSUKURA, R.; LAGALLY, M.; KAWAGUCHI, T. Web of things (wot) architecture. W3C, 2023. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/wot-architecture/>. Citado na página 15.
- LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 6, p. 1–10, 2017. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-industrial-information-integration>. Citado na página 14.
- MIORANDI, D.; SICARI, S.; PELLEGRINI, F. D.; CHLAMTAC, I. Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, 2012. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/ad-hoc-networks>. Citado na página 14.
- SOLDATOS, J.; KEFALAKIS, N.; HAUSWIRTH, M.; SERRANO, M.; CALBIMONTE, J.-P.; RIAHI, M. Openiot: Open source internet-of-things in the cloud. *Interoperability and Open-Source Solutions for the Internet of Things*, p. 13–25, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/273447891\\_OpenIoT\\_Open\\_Source\\_Internet-of-Things\\_in\\_the\\_Cloud](https://www.researchgate.net/publication/273447891_OpenIoT_Open_Source_Internet-of-Things_in_the_Cloud). Citado na página 16.
- SWAN, M. Sensor mania! the internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, v. 1, n. 3, p. 217–253, 2012. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2224-2708/1/3/217>. Citado na página 14.
- TSIATSIS, V.; KARNOUSKOS, S.; HÖLLER, J. The internet of things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers. *Procedia Computer Science*, v. 130, p. 34–42, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918309049>. Citado na página 16.
- VERMESAN, O.; FRIESS, P. *Internet of Things - Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. [s.n.], 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/272943881\\_Internet\\_of\\_Things\\_-\\_Converging\\_Technologies\\_for\\_Smart\\_Environments\\_and\\_Integrated\\_Ecosystems](https://www.researchgate.net/publication/272943881_Internet_of_Things_-_Converging_Technologies_for_Smart_Environments_and_Integrated_Ecosystems). Citado na página 10.
- ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6740844>. Citado na página 14.