

# OntoVISO - Modelo Semântico para Gestão de Relacionamentos na SIoT

José Pauletti<sup>1</sup>, Leandro Camargo<sup>2</sup>, Ana Marilza Pernas<sup>1</sup>, Adenauer Yamin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas (UFPel) Pelotas – RS – Brasil

{jose.pauletti, marilza, adenauer}@inf.ufpel.edu.br

<sup>2</sup>Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul) Bagé – RS – Brasil

leandrocamargo@ifsul.edu.br

**Abstract.** *The Internet of Things (IoT) and its evolution, the Social Internet of Things (SIoT), enable the connection and establishment of relationships among billions of devices capable of forming social relationships, bringing challenges to relationship management and business rule definition. This work proposes a semantic model to support relationship management among devices in SIoT environments. The model integrates the Virtual Interactions between Social Objects (VISO) approach and provides a semantic layer to represent devices, relationships, and business rules. The results indicate improvements in the organization of interactions and in connection recommendations. As future work, the application of the model in real SIoT scenarios is envisioned.*

**Resumo.** *A Internet of Things (IoT) e a sua evolução, a Social Internet of Things (SIoT), permite conexão e estabelecimento de relações entre bilhões de dispositivos, capazes de estabelecer relacionamentos sociais, o que traz desafios ao gerenciamento dessas relações e à definição de regras de negócio. Este trabalho propõem um modelo semântico para apoio a gestão de relacionamentos entre dispositivos em ambientes SIoT. O modelo integra a abordagem Virtual Interactions between Social Objects (VISO) e fornece uma camada semântica para representar dispositivos, relacionamentos e regras de negócio. Os resultados indicam melhoria na organização das interações e na recomendação de conexões. Como trabalho futuro, prevê-se a aplicação em cenários reais de SIoT.*

## 1. Introdução

A crescente disseminação da Internet das Coisas (IoT) tem ampliado a presença de dispositivos conectados em diferentes domínios, como ambientes industriais, urbanos e residenciais. Esses dispositivos coletam, processam e compartilham dados, viabilizando serviços automatizados e sensíveis ao contexto. Esse cenário reflete a evolução de um ecossistema distribuído caracterizado pela interconexão de entidades físicas e virtuais em larga escala [Li et al. 2015].

A Internet das Coisas Social (SIoT) estende esse paradigma ao permitir que objetos estabeleçam relacionamentos de forma análoga às redes sociais. Nesse modelo, dispositivos formam conexões com base em critérios como proximidade, propriedade e interação, promovendo cooperação na execução de serviços e maior eficiência na descoberta de recursos [Gubbi et al. 2013, Roopa et al. 2019]. Entretanto, essa dinâmica

introduz desafios relacionados à heterogeneidade, escalabilidade e confiabilidade das interações [Kaur and Anand 2021].

Entre as abordagens voltadas à gestão de relacionamentos na SIIoT, destaca-se a Virtual Interactions between Social Objects (VISO). A VISO emprega o conceito de *Digital Twin*, no qual dispositivos físicos são representados por Objetos Virtuais responsáveis por encapsular capacidades, restrições e características operacionais dos dispositivos. [Camargo et al. 2024].

Apesar desses avanços, a VISO não contempla explicitamente uma camada semântica para representar formalmente objetos, suas características e as regras que governam suas interações. Essa limitação restringe a capacidade de gerenciamento do ambiente, especialmente quanto à definição, interpretação e aplicação de regras de negócio em cenários dinâmicos e heterogêneos [Corcho et al. 2004].

Diante desse contexto, este trabalho propõe um modelo semântico baseado em ontologias para apoiar a gestão de relacionamentos entre dispositivos na SIIoT, alinhado aos princípios da abordagem VISO. O modelo representa objetos virtuais, suas propriedades e interações, permitindo a definição de regras de negócio que orientam a formação e a manutenção de relacionamentos. O uso de ontologias favorece a interoperabilidade e a inferência de conhecimento em ambientes IoT [Jarwar et al. 2022].

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 elenca conceitos fundamentais da SIIoT e discute os trabalhos relacionados. A Seção 3 descreve os mecanismos da VISO e o uso de *Digital Twin* na virtualização dos dispositivos. A Seção 4 apresenta a OntoVISO e sua integração semântica aos mecanismos de organização social. A Seção 5 descreve o cenário experimental, a configuração da avaliação e os resultados. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e os direcionamentos futuros.

## 2. Fundamentação Teórica e Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta os conceitos que sustentam este trabalho, com ênfase na Internet das Coisas Social (SIIoT), na gestão de relacionamentos entre objetos e no uso de ontologias para representação semântica. Adicionalmente, são discutidos trabalhos correlatos, destacando suas contribuições e limitações, com o objetivo de contextualizar a proposta.

### 2.1. SIIoT e Gestão de Relacionamentos

A Internet das Coisas Social (SIIoT) estende o paradigma da IoT ao introduzir mecanismos de interação social entre dispositivos, permitindo que objetos estabeleçam relações de forma autônoma com base em critérios como proximidade, propriedade e interesses compartilhados [Gubbi et al. 2013, Roopa et al. 2019]. Essa abordagem favorece a descoberta de serviços e a composição de aplicações distribuídas, ao explorar a organização social dos dispositivos como elemento estruturante do ambiente.

A gestão de relacionamentos na SIIoT representa um dos principais desafios desse paradigma, pois envolve a definição, manutenção e dissolução de conexões entre dispositivos heterogêneos. Esses relacionamentos influenciam diretamente a qualidade dos serviços e dependem de mecanismos capazes de lidar com diferentes tipos de interação, como co-localização, colaboração e propriedade [Roopa et al. 2019]. Nesse contexto, métricas de confiança e reputação são utilizadas para avaliar o comportamento dos dispositivos com base em interações anteriores [Kowshalya and Valarmathi 2017].

Entre as abordagens propostas, a *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO) define um modelo para gestão dinâmica de relacionamentos na SIoT, estruturando interações a partir de objetos virtuais e mecanismos descentralizados de avaliação [Camargo et al. 2023]. A abordagem utiliza o conceito de *Digital Twin* para representar dispositivos físicos e incorpora métricas de confiança direta, permitindo que os próprios objetos avaliem suas interações. Além disso, emprega princípios de *Organizational Network Analysis* (ONA) para classificar dispositivos conforme seu papel na rede, apoiando a organização de comunidades e a recomendação de conexões.

## 2.2. Ontologias na SIoT

A representação semântica desempenha papel central na gestão de ambientes IoT complexos, especialmente diante da heterogeneidade de dispositivos e da diversidade de dados. Nesse contexto, ontologias são amplamente utilizadas para estruturar o conhecimento de um domínio, permitindo descrever entidades, propriedades e relações de forma formal e interoperável [Corcho et al. 2004]. Essa formalização viabiliza a inferência de conhecimento e a integração entre sistemas heterogêneos.

No domínio da SIoT, ontologias têm sido empregadas para modelar dispositivos, serviços e relacionamentos, apoiando a descoberta de recursos e a tomada de decisão baseada em contexto [Jarwar et al. 2022]. Essas abordagens permitem representar características dos objetos e suas interações, facilitando a definição de regras e políticas de gerenciamento em ambientes distribuídos.

Diversos estudos investigam o uso de ontologias para a gestão de relacionamentos na SIoT, com foco na definição de regras de amizade e na organização de comunidades de dispositivos. Esses trabalhos evidenciam o potencial da modelagem semântica para lidar com desafios como interoperabilidade, escalabilidade e confiabilidade, embora frequentemente não integrem mecanismos estruturados de análise de redes ou estratégias dinâmicas de recomendação de conexões [Roopa et al. 2019].

Nesse contexto, observa-se uma lacuna na integração entre representação semântica, métricas de confiança e mecanismos de gestão dinâmica de relacionamentos, como os propostos pela abordagem VISO. A combinação dessas técnicas pode ampliar a capacidade de representação e gerenciamento do ambiente, fornecendo suporte à definição de regras de negócio e à evolução das interações [Camargo 2023].

## 2.3. Trabalhos Correlatos

Com o objetivo de analisar o estado da arte, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) baseada no protocolo de Kitchenham [Kitchenham 2004], abrangendo cinco bases de dados disponíveis por meio do CAPES CAFE, sendo elas: *Association for Computing Machinery* (ACM), *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), Scopus, Springer e Web of Science.

A RSL inicial, conduzida em 2023 e disponibilizada em [Pauletti et al. 2024], identificou apenas 5 trabalhos relacionados à infraestruturas de SIoT apoiadas pelo uso de ontologias. No ano de 2025 este estudo foi estendido e novos números foram obtidos. Foram identificados 2100 estudos, dos quais 38 foram selecionados após a aplicação de critérios de inclusão e exclusão, resultando em 9 trabalhos considerados mais relevantes

para análise, isto é, 4 novos trabalhos foram adicionados à RSL original. A relação dos mesmos está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1. Comparação dos trabalhos relacionados**

Trabalho	Semântica	Conf.	Rede Social	Principal Limitação
[KrishnA et al. 2024]	✓	–	–	Foco em eventos urbanos sem gerenciamento social de objetos.
[Pliatsios and Dosis 2024]	✓	–	–	Restrito à detecção de falhas em hardware IoT.
[Neves et al. 2024]	✓	△	–	Prioriza anonimização sem organização social dinâmica.
[Santhosh Kumar et al. 2024]	✓	△	–	Não incorpora análise estrutural das interações.
[Pliatsios et al. 2023]	✓	△	△	Inferência social limitada ao contexto colaborativo.
[Lakshmi et al. 2022]	△	–	–	Foco em descoberta de dispositivos e sensores.
[Bouazza et al. 2022]	△	✓	△	Ausência de representação semântica integrada.
[Choi and Rhee 2018]	–	✓	△	Sem suporte ontológico ou inferência semântica.
[Ali et al. 2018]	△	△	△	Não integra ontologias e análise estrutural.
<b>OntoVISO</b>	✓	✓	✓	<b>Integra semântica, confiança, ONA e PageRank na SIoT.</b>

Legenda: ✓ suporte completo; △ suporte parcial; – ausência de suporte.

Dentre estes trabalhos obtidos, o trabalho de [KrishnA et al. 2024] utiliza uma abordagem em camadas: uma para o fluxo de dados (IoT, sensores e mídias sociais); uma intermediária, que emprega uma ontologia para tratar esses dados e fornecer um padrão unificado e semântico; e uma camada superior, responsável por aplicar técnicas de mineração de dados, com o intuito de prever, detectar e responder a eventos urbanos de forma oportuna e eficiente. Os autores demonstram a eficiência da abordagem em diversos cenários urbanos. A metodologia apresentada não mostra a construção do sistema, mas apresenta um resumo para o entendimento de cada camada construída. Não são apresentadas as ontologias utilizadas, nem o modelo semântico adotado.

O trabalho de [Pliatsios and Dosis 2024], tem como foco mostrar o funcionamento da ferramenta Sem4EDA, que modela componentes de hardware, falhas e alguns comportamentos operacionais. Durante o trabalho os autores utilizaram consultas SPARQL para extrair as informações importantes, para realizar uma simulação criaram um cenário com sensores de temperatura em uma *smart city*.

Os autores do trabalho [Neves et al. 2024], apresentam um sistema chamado de *Smart Anonymity*, que determina um algoritmo para anonimato de dados para um determinado conjunto de dados, avaliando suas características únicas. O sistema utiliza de ontologias baseadas em lógicas de descrição, com aprendizado de máquina para melhorar a classificação dos dados.

No trabalho de [Santhosh Kumar et al. 2024], os autores propõem uma estrutura chamada OSSIoT, cujo objetivo é implementar, por meio de uma ontologia, um sistema de segurança operacional, utilizando interpolação para estabelecer os relacionamentos.

Ao final, foi identificado que o modelo proposto teve uma resposta satisfatória em relação a outros modelos testados.

A análise dos trabalhos resultantes da RSL indica que existem ontologias propostas para aplicação em ambientes SIoT, porém ainda de forma limitada e heterogênea. Alguns trabalhos abordam explicitamente esse aspecto, propondo módulos ou modelos ontológicos voltados à gestão de relacionamentos e à avaliação de confiabilidade entre dispositivos. No entanto, grande parte dos estudos utiliza ontologias já existentes com foco predominante na gestão de serviços, não priorizando a modelagem e o gerenciamento das relações sociais entre objetos.

Existem estudos que investigam o uso de ontologias para a representação semântica e a gestão de relacionamentos na SIoT, com foco na melhoria da descoberta de serviços, interoperabilidade e organização de dispositivos em ambientes distribuídos [Roopa et al. 2019, Jarwar et al. 2022]. Em geral, essas abordagens concentram-se na modelagem de entidades e relações, explorando mecanismos de inferência para apoiar a tomada de decisão.

Parte dos trabalhos propõe modelos ontológicos voltados à definição de relacionamentos entre objetos, considerando atributos como proximidade, contexto e histórico de interações [Kowshalya and Valarmathi 2017]. Outros enfoques priorizam a descrição semântica de serviços e recursos, permitindo a descoberta e composição automática em ambientes IoT heterogêneos [Li et al. 2015]. No entanto, tais abordagens frequentemente não incorporam mecanismos estruturados de análise de redes ou estratégias dinâmicas de recomendação de relacionamentos.

A análise do estado da arte evidencia que, embora existam avanços na utilização de ontologias e na modelagem de relacionamentos, há limitações quanto ao detalhamento de sua construção, aplicação e avaliação. Além disso, carecem da integração entre representação semântica, métricas de confiança e mecanismos estruturados de organização social. Em particular, a abordagem VISO destaca-se pela capacidade de organizar e ranquear dispositivos com base em interações, mas carece de uma camada semântica formal que suporte a definição de regras de negócio [Camargo 2023].

Dessa forma, identifica-se uma lacuna na definição de modelos que integrem, de maneira consistente, ontologias, mecanismos de confiança e estruturas sociais. Este trabalho posiciona-se nesse contexto ao propor um modelo semântico integrado à VISO, com o objetivo de ampliar a capacidade de representação e gerenciamento de relacionamentos em ambientes SIoT.

### 3. A Abordagem VISO

A *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO) define um modelo para a gestão dinâmica de relações e interações entre dispositivos heterogêneos na *Social Internet of Things* (SIoT) [Camargo 2023]. Sua concepção baseia-se na virtualização de dispositivos e na organização das interações por meio de mecanismos distribuídos de avaliação e recomendação.

A VISO adota o conceito de *Digital Twin*, ou seja, gêmeo digital, no qual dispositivos físicos são representados por Objetos Virtuais que encapsulam suas características, capacidades e restrições operacionais [Picone et al. 2022]. Essa abstração permite pa-

dronizar a representação dos dispositivos e viabilizar sua integração em ambientes heterogêneos. As interações entre objetos são monitoradas de forma distribuída e avaliadas com base em métricas de confiança direta, atribuídas a partir do histórico de interações entre pares [Kowshalya and Valarmathi 2017]. Esse mecanismo permite que os próprios dispositivos participem da avaliação da qualidade das relações estabelecidas.

Para estruturar essas interações, a abordagem incorpora princípios de *Organizational Network Analysis* (ONA), classificando os dispositivos conforme seu nível de participação e influência na rede [Cross and Gray 2021]. Essa classificação contribui para a organização do ambiente e para a identificação de padrões de comportamento. Adicionalmente, a VISO utiliza uma adaptação do algoritmo *PageRank* para ranquear dispositivos com base em suas interações e níveis de confiança [Brin and Page 1998].

O ranqueamento orienta a recomendação de novas conexões, favorecendo a formação de relações mais relevantes. Como resultado, os dispositivos são organizados em comunidades, denominadas Círculos Sociais, que agrupam objetos com características e interesses semelhantes. Essa estrutura contribui para a otimização da descoberta de serviços e para a eficiência das interações no ambiente SIoT. A partir desses mecanismos, observa-se que a VISO fornece uma base estruturada para a gestão de relacionamentos, porém sem incorporar uma camada semântica formal para representação do conhecimento, aspecto abordado na proposta deste trabalho.

#### 4. Modelo Semântico Proposto

O modelo semântico proposto tem como objetivo apoiar a gestão de relacionamentos entre dispositivos na SIoT por meio da representação formal de objetos, suas propriedades e interações. A proposta baseia-se no uso de ontologias para estruturar o conhecimento do domínio, permitindo a definição de regras de negócio e a inferência de novos relacionamentos em ambientes inteligentes [Corcho et al. 2004, Jarwar et al. 2022].

A ontologia foi desenvolvida com base no Método 101 [Noy et al. 2001], o qual define sete etapas que têm como objetivo auxiliar nesse processo de construção. Com relação ao escopo (etapa 1), a modelagem considera os princípios da abordagem VISO, na qual dispositivos físicos são representados por Objetos Virtuais que encapsulam características, capacidades e restrições operacionais [Camargo 2023]. O modelo semântico estende essa representação ao formalizar atributos como identificação, tipo de serviço, habilidades e restrições, possibilitando uma descrição padronizada e interoperável dos elementos do ambiente.

Relacionado ao reuso (etapa 2), ontologias como a *Generic Ontology for IoT Platforms*<sup>1</sup> (GOIoTP), *IoT-Lite*<sup>2</sup>, *Semantic Sensor Network*<sup>3</sup> (SSN) e *Friend Of A Friend*<sup>4</sup> (FOAF) apoiaram o processo de definição do modelo semântico.

Para definição dos principais termos e classes (etapas 3 e 4), a ontologia organiza o domínio em um conjunto de classes e relações que descrevem os principais elementos da SIoT. Entre as classes centrais, destacam-se *ObjetoVirtual* (na ontologia, *VirtualObject*), *Interacao* (*Interaction*), *CirculoSocial* (*SocialCircle*), *MetricaConfianca* (*Recommendation*) e *PapelONA* (*RoleONA*), responsáveis por representar, respectivamente,

<sup>1</sup><https://inter-iot.github.io/ontology/>

<sup>2</sup><https://www.w3.org/submissions/iot-lite/>

<sup>3</sup><https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/>

<sup>4</sup><http://xmlns.com/foaf/spec/>

os dispositivos virtualizados, as interações, os agrupamentos sociais, os mecanismos de avaliação e os papéis estruturais na rede [Camargo 2023]. Essas entidades são interligadas por propriedades que capturam dependências e restrições do domínio.

As propriedades ontológicas, definidas na etapa 5 do Método 101, contemplam relações como pertencimento a círculos sociais, estabelecimento de conexões entre objetos e avaliação de interações. Adicionalmente, na etapa 6, são definidos atributos e tipos das classes, que caracterizam o estado e o comportamento dos dispositivos, incluindo parâmetros de confiança, histórico de interações e restrições operacionais, permitindo representar de forma consistente os elementos necessários à gestão de relacionamentos.

Com base nessa estrutura de classes e relacionamentos, são definidas regras de negócio visando orientar a formação, manutenção e dissolução de relacionamentos. Essas regras são especificadas em linguagem SWRL (*Semantic Web Rule Language*) [Horrocks et al. 2004], possibilitando a inferência automática de novos vínculos a partir de condições previamente definidas. Dessa forma, o modelo permite automatizar decisões relacionadas à recomendação de conexões e à organização do ambiente.

A integração com a abordagem VISO ocorre ao complementar seus mecanismos de análise e recomendação com uma camada formal de representação do conhecimento. Enquanto a VISO utiliza métricas de confiança e algoritmos de ranqueamento para estruturar as interações, o modelo proposto explicita os critérios de decisão por meio de regras e permite a persistência semântica das informações [Camargo 2023]. Como resultado, a combinação entre ontologias e mecanismos da VISO amplia a capacidade de gestão do ambiente SIoT ao integrar representação semântica, análise de redes e avaliação de confiança. Essa integração contribui para a construção de ambientes mais estruturados, interoperáveis e adaptáveis às dinâmicas de interação entre dispositivos.

#### 4.1. Definição do Modelo

O modelo semântico proposto é estruturado por meio de uma ontologia de domínio voltada à representação de dispositivos e suas interações na SIoT. A Figura 1 mostra as principais classes da ontologia. Para simplificar a visualização, estão organizadas em dois grupos: *Environment* e *VirtualObject*, demonstrando a pertinência do objeto ao ambiente.

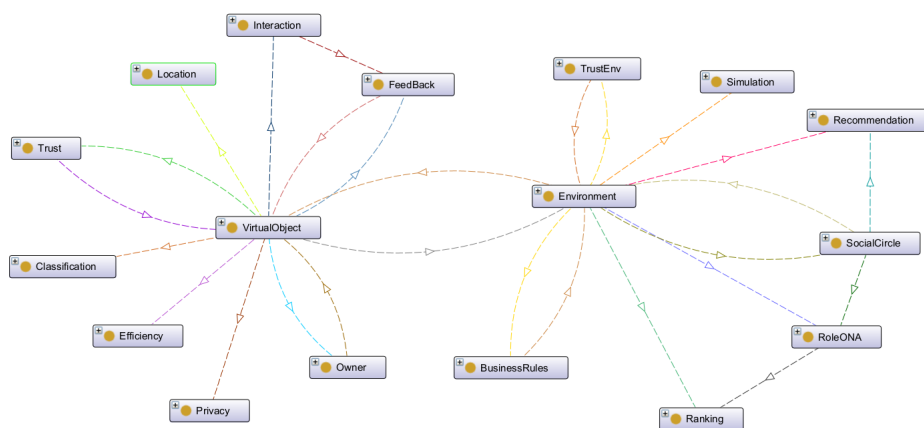


Figura 1. Principais classes da ontologia criada

A classe central é *VirtualObject*, responsável por representar a abstração dos dispositivos físicos. Cada instância possui atributos que descrevem sua identidade, características operacionais e contexto de atuação, incluindo identificador, tipo de dispositivo, habilidades e restrições. As interações entre dispositivos são representadas pela classe *Interaction*, que registra os relacionamentos estabelecidos entre pares de objetos, incluindo tipo de relação, histórico de interações e parâmetros de avaliação. Essas interações constituem a base para a formação das estruturas sociais no ambiente.

A organização em comunidades é modelada pela classe *SocialCircle*, que agrupa dispositivos com base em características comuns, como similaridade de serviços ou padrões de interação. Esse agrupamento reduz o espaço de busca e apoia a recomendação de conexões mais relevantes.

O modelo também contempla métricas de avaliação por meio da classe *Recommendation*, responsável por armazenar informações relacionadas à confiabilidade das interações. Esses dados são derivados do histórico de avaliações e utilizados no processo de tomada de decisão para estabelecimento de novas conexões.

Por fim, a classe *RoleONA* classifica os dispositivos conforme seu papel na rede, considerando sua participação nas interações e sua relevância no ambiente. Essa classificação permite identificar objetos com maior influência ou centralidade, apoiando mecanismos de recomendação e organização do sistema.

A Tabela 2 destaca um subconjunto das principais relações definidas na ontologia e as conexões entre as classes centrais do modelo. Essas relações permitem estruturar as interações entre objetos, a avaliação de confiança e a organização dos dispositivos em círculos sociais, fornecendo suporte à aplicação das regras de negócio.

**Tabela 2. Principais Relações do Modelo Semântico**

Relação	Domínio	Range
<i>involvesInteraction</i>	<i>VirtualObject</i>	<i>Interaction</i>
<i>hasTrustWith</i>	<i>VirtualObject</i>	<i>Trust</i>
<i>hasClassification</i>	<i>VirtualObject</i>	<i>RoleONA</i>
<i>hasEnvironment</i>	<i>VirtualObject</i>	<i>Environment</i>
<i>belongsToCircle</i>	<i>Environment</i>	<i>SocialCircle</i>
<i>hasMember</i>	<i>SocialCircle</i>	<i>VirtualObject</i>
<i>hasTrustWithEnv</i>	<i>Environment</i>	<i>TrustEnv</i>
<i>recommendsObject</i>	<i>SocialCircle</i>	<i>VirtualObject</i>

A Tabela 2 sintetiza as principais relações definidas na ontologia, evidenciando como os elementos do modelo são conectados para representar interações, confiança e organização social no ambiente SIoT. Observa-se que a estrutura proposta permite integrar diferentes dimensões do sistema, articulando aspectos operacionais dos dispositivos, avaliação de interações e formação de comunidades.

Essa formalização fornece a base necessária para a aplicação das regras de negócio e para a integração com os mecanismos da abordagem VISO, permitindo que decisões relacionadas à criação e manutenção de relacionamentos sejam realizadas de forma explícita e consistente. Dessa forma, o modelo semântico contribui para uma representação mais estruturada do domínio, viabilizando maior controle e previsibilidade na gestão das interações entre dispositivos.

## 4.2. Regras de Negócio e Integração com a VISO

Regras são definidas para orientar o comportamento dos dispositivos no ambiente, estabelecendo critérios para criação, manutenção e dissolução de relacionamentos. Elas são modeladas sobre a ontologia, permitindo sua aplicação de forma consistente e reutilizável.

A definição das regras considera informações provenientes das interações entre dispositivos, das métricas de confiança e das restrições associadas a cada objeto. Com base nesses elementos, é possível inferir a viabilidade de novas conexões, o reforço ou enfraquecimento de relacionamentos existentes e a exclusão de interações inadequadas. A formalização dessas regras na ontologia, em linguagem SWRL, possibilita a automatização de decisões no ambiente SIoT, reduzindo a necessidade de intervenção externa e promovendo maior autonomia dos dispositivos. Além disso, a base semântica permite a aplicação de mecanismos de inferência, ampliando a capacidade de adaptação do sistema a mudanças de contexto.

A integração com a abordagem VISO ocorre ao incorporar essas regras ao processo de gestão de relacionamentos já definido. Enquanto a VISO fornece mecanismos para avaliação e ranqueamento das interações, o modelo semântico explicita os critérios de decisão por meio de regras formais. Um exemplo é apresentado na regra (1) que estabelece que, dado um objeto (por exemplo, “a”) já recomendado em um círculo social, outros objetos que pertencem ao mesmo ambiente e compartilham o mesmo círculo também podem ser recomendados. Essa inferência permite que o sistema estabeleça automaticamente vínculos de recomendação com base na estrutura semântica do ambiente, apoiando mecanismos de sugestão de recursos e interação entre objetos na SIoT.

$$\begin{aligned} & \text{VirtualObject}(?a) \wedge \text{VirtualObject}(?b) \wedge \\ & \text{hasEnvironment}(?a, ?e) \wedge \text{hasEnvironment}(?b, ?e) \wedge \\ & \text{belongsToCircle}(?e, ?c) \wedge \text{hasMember}(?c, ?a) \wedge \\ & \text{hasMember}(?c, ?b) \\ & \rightarrow \text{recommendsObject}(?c, ?b) \end{aligned} \quad (1)$$

Nesse contexto, as métricas de confiança e os resultados de ranqueamento são utilizados como insumo para a aplicação das regras, alinhando os processos de recomendação às políticas definidas no modelo. De forma complementar, as regras podem restringir ou orientar o comportamento dos algoritmos da VISO, proporcionando maior controle sobre a evolução das relações.

Como resultado, a integração entre o modelo semântico e a VISO estabelece um ambiente mais estruturado, no qual a gestão de relacionamentos é suportada tanto por mecanismos analíticos quanto por uma representação formal do conhecimento, contribuindo para maior consistência e previsibilidade das interações.

## 5. Avaliação

Esta seção apresenta a avaliação inicial do modelo semântico proposto em um ambiente representativo de SIoT, descrevendo o cenário experimental, a configuração adotada e os resultados obtidos na gestão de relacionamentos entre dispositivos.

## 5.1. Cenário e Configuração

A avaliação foi conduzida em um ambiente representativo de SIoT, composto por dispositivos heterogêneos representados por seus respectivos Objetos Virtuais. O cenário considera a inserção progressiva de dispositivos com diferentes características, incluindo variações em habilidades, restrições operacionais e níveis de confiabilidade.

A configuração do experimento utiliza a ontologia proposta para descrever os objetos e suas interações, associada à aplicação de regras de negócio para orientar o estabelecimento de relacionamentos. A ontologia foi desenvolvida em linguagem OWL (*Web Ontology Language*)<sup>5</sup> com uso do software Protégè<sup>6</sup> e apoio de *plugins*, como OntoGraf, para os gráficos, e SWRLTab, para as regras. A instanciação dos dados de teste e programação da ontologia foi feita com uso do *framework* Apache Jena<sup>7</sup>, uma biblioteca Java voltada para a modelagem e utilização de ontologias no ambiente Java. Com uso dessas ferramentas, foi instanciado um ambiente de testes com suporte à modelagem ontológica e inferência semântica, possibilitando a execução de consultas e a validação das regras definidas.

As interações entre dispositivos são registradas e avaliadas com base em métricas de confiança, derivadas do histórico de colaboração entre os objetos. Esses dados já haviam sido obtidos em experimentos anteriores, desenvolvidos no contexto da VISO. Essas métricas são utilizadas como entrada para os mecanismos de recomendação, em conjunto com os critérios definidos pelas regras de negócio. Além disso, os dispositivos são classificados conforme seus papéis na rede, permitindo analisar a influência dessa categorização na formação de círculos sociais e na recomendação de novos relacionamentos.

## 5.2. Resultados

A aplicação do modelo semântico no cenário proposto permitiu observar mudanças no comportamento de formação de relacionamentos entre dispositivos. Em particular, verificou-se que a utilização de regras de negócio associadas à ontologia resultou em uma seleção mais restritiva e consistente de conexões, reduzindo a ocorrência de relacionamentos incompatíveis com as restrições dos dispositivos.

A análise do comportamento do sistema indica que a incorporação da camada semântica permite explicitar critérios de decisão previamente implícitos na abordagem VISO, tornando o processo de gestão de relacionamentos mais previsível e controlável. Como consequência, observou-se uma organização mais estruturada das interações e maior aderência das conexões às regras definidas no modelo.

A Tabela 3 sintetiza o comportamento observado no ambiente, comparando a abordagem original da VISO com a versão estendida pelo modelo semântico. Observa-se que a inclusão da camada semântica contribui para maior consistência nas conexões, melhor aderência às restrições dos dispositivos e maior controle sobre os critérios de decisão.

Os critérios apresentados na Tabela 3 refletem diferenças no comportamento do sistema com e sem a camada semântica. A classificação como: (i) consistência das conexões (baixa) indica a formação de relacionamentos sem verificação adequada de restrições; (ii) aderência às restrições (parcial) refere-se à consideração incompleta das

<sup>5</sup><https://www.w3.org/OWL/>

<sup>7</sup><https://jena.apache.org/>

<sup>6</sup><https://protege.stanford.edu/software/>

**Tabela 3. Análise do Comportamento do Sistema com e sem Camada Semântica**

<b>Critério</b>	<b>Sem Modelo Semântico</b>	<b>Com Modelo Semântico</b>
Consistência das conexões	Baixa	Alta
Aderência às restrições	Parcial	Alta
Uso de métricas de confiança	Isolado	Integrado
Controle sobre decisões	Implícito	Explícito
Organização dos dispositivos	Limitada	Estruturada
Recomendação de conexões	Genérica	Contextualizada

condições operacionais; (iii) uso de métricas de confiança (isolado) aponta falta de integração com regras ou contexto; (iv) controle sobre decisões (implícito) representa critérios não formalizados nos algoritmos; (v) organização dos dispositivos (limitada) indica ausência de mecanismos estruturados de agrupamento; e (vi) recomendação de conexões (genérica) denota falta de critérios contextualizados nos relacionamentos.

Com a incorporação do modelo semântico, espera-se que esses aspectos passem a ser tratados de forma integrada, permitindo maior controle sobre o processo de decisão, aderência às restrições e organização mais consistente das interações no ambiente SIIoT.

## 6. Conclusão

Este trabalho apresenta um modelo semântico baseado em ontologias para apoiar a gestão de relacionamentos entre dispositivos na Internet das Coisas Social, alinhado à abordagem VISO. A proposta estrutura a representação de objetos virtuais, suas interações e métricas associadas, permitindo a definição de regras de negócio que orientam o comportamento do ambiente. A integração entre o modelo semântico e os mecanismos da VISO complementa a análise de interações com uma camada formal de representação do conhecimento. Essa combinação permite explicitar critérios de decisão e aplicar mecanismos de inferência, contribuindo para maior consistência na gestão de relacionamentos. Os resultados indicam que o modelo favorece a organização das interações e a recomendação de conexões mais adequadas, considerando aspectos como confiança, restrições operacionais e papel dos dispositivos na rede. Dessa forma, contribui para o desenvolvimento de ambientes SIIoT mais estruturados e adaptáveis.

Como trabalhos futuros, prevê-se a aplicação do modelo em cenários reais de SIIoT, visando avaliar seu desempenho em ambientes operacionais quanto à escalabilidade, variabilidade de dispositivos e dinamicidade das interações.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## Declaração sobre o Uso de Inteligência Artificial

Em atendimento ao Código de Conduta para autores da SBC, declaramos que foi utilizada a ferramenta de IA Generativa ChatGPT exclusivamente para auxiliar na formatação da regra no texto (ajuste de parâmetros do Overleaf), para revisão da escrita do *abstract* e revisão gramatical do texto. Entretanto, ressalta-se que todo o texto gerado e resultados obtidos são provenientes única e exclusivamente da pesquisa desenvolvida pelos autores.

## Referências

- Ali, S., Kibria, M. G., Jarwar, M. A., Lee, H. K., and Chong, I. (2018). A model of socially connected web objects for iot applications. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018:1–20.
- Bouazza, H., Said, B., and Laallam, F. Z. (2022). A hybrid iot services recommender system using social iot. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(8):5633–5645.
- Brin, S. and Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30(1-7):107–117.
- Camargo, L., Pauletti, J., Pernas, A., and Yamin, A. (2024). Viso approach: A socialization proposal for the internet of things objects. *Future Generation Computer Systems*, 150:326–340.
- Camargo, L., Pernas, A., and Yamin, A. (2023). Abordagem viso: uma contribuição à socialização entre objetos da internet das coisas. In *Anais do L Seminário Integrado de Software e Hardware*, pages 179–190, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Camargo, L. d. S. (2023). *VISO: uma abordagem para gestão dinâmica das relações entre objetos na Internet das Coisas Social*. PhD thesis, Universidade Federal de Pelotas (UFPEl), Programa de Pós-Graduação em Computação, Pelotas, RS, Brasil.
- Choi, H.-S. and Rhee, W.-S. (2018). Social based trust management system for resource sharing service. In *Proceedings of the 2nd international conference on intelligent systems, metaheuristics & swarm intelligence*, pages 148–152.
- Corcho, O., Gómez-Pérez, A., and Fernández-López, M. (2004). *Ontological Engineering*. Springer.
- Cross, R. and Gray, P. (2021). Optimizing return-to-office strategies with organizational network analysis. *MIT Sloan Management Review*, 62(4):1–7.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645–1660.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B., and Dean, M. (2004). Swrl: A semantic web rule language combining owl and ruleml. W3C Member Submission.
- Jarwar, M. A., Watson, R., Ani, U., and Chalmers, D. (2022). Semantic iot: A survey on ontologies for the internet of things. *IEEE Access*, 10:12345–12367.
- Kaur, H. and Anand, V. (2021). A comprehensive survey on social internet of things (siot). *Journal of Network and Computer Applications*, 181:103034.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004):1–26.
- Kowshalya, A. M. and Valarmathi, M. (2017). Trust management in the social internet of things. *Wireless Personal Communications*, 96(2):2681–2691.
- Krishna, M. H., Manjunatha, Kumar, R., Singh, N., Kumar, A., and Ftaiet, A. A. (2024). Complex event processing in web streams with ontology-based abstraction layers for

- smart city frameworks. In *2024 International Conference on Trends in Quantum Computing and Emerging Business Technologies*, pages 1–6.
- Lakshmi, R. V., Deepak, G., Santhanavijayan, A., and Radha, S. (2022). Search for social smart objects constituting sensor ontology, social iot and social network interaction. In *2022 Sixth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC)*, pages 60–65. IEEE.
- Li, S., Xu, L. D., and Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2):243–259.
- Neves, F., Souza, R., Lima, W., Raul, W., Bonfim, M., and Garcia, V. (2024). Smart anonymity: a mechanism for recommending data anonymization algorithms based on data profiles for iot environments. *J. Supercomput.*, 80(14):20956–21000.
- Noy, N. F., McGuinness, D. L., et al. (2001). Ontology development 101: A guide to creating your first ontology.
- Pauletti, J., Pernas, A., Camargo, L., and Yamin, A. (2024). Aplicação de ontologias para representação de conhecimento em ambientes da siot - uma revisão de literatura. In *Anais da XIX Escola Regional de Banco de Dados*, pages 41–50, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Picone, M., Mamei, M., and Zambonelli, F. (2022). A flexible and modular architecture for edge digital twin: Implementation and evaluation. *ACM Transactions on Internet of Things*.
- Pliatsios, A. and Dosis, M. (2024). Rule-based reasoning for hardware fault detection in iot systems using electronic design automation tools. In *2024 19th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation Personalization (SMAP)*, pages 32–37.
- Pliatsios, A., Lymperis, D., and Goumopoulos, C. (2023). S2netm: A semantic social network of things middleware for developing smart and collaborative iot-based solutions. *Future Internet*, 15(6):207.
- Roopa, M. S., Pattar, S., Buyya, R., Venugopal, K. R., Iyengar, S. S., and Patnaik, L. M. (2019). Social internet of things (siot): Foundations, thrust areas, systematic review and future directions. *Computer Communications*, 139:32–57.
- Santhosh Kumar, K., Shiva Prakash, S., Krinkin, K., et al. (2024). Ossiot: An ontology-based operational security model for social internet of things using machine learning techniques. *IAENG International Journal of Computer Science*, 51(10).