

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Ciência da Informação**  
**Programa de Pós-Graduação em Gestão e Organização do Conhecimento**

Ricardo Bruno da Cruz Costa

**MODELANDO FINANÇAS DESCENTRALIZADAS: uma proposta de ontologia  
para o ecossistema DeFi**

Belo Horizonte

2025

Ricardo Bruno da Cruz Costa

**Modelando Finanças Descentralizadas: uma proposta de ontologia para o  
ecossistema DeFi**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão & Organização do Conhecimento, Escola de Ciência da Informação da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do grau de Mestre, área de concentração Ciência da Informação.

**Linha de Pesquisa:** Gestão & Tecnologia da Informação e Comunicação

**Orientador:** Prof. Dr. Marcello Peixoto Bax

Belo Horizonte

2025

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

C837m

Costa, Ricardo Bruno da Cruz

Modelando finanças descentralizadas: uma proposta de ontologia para o ecossistema DeFi / Ricardo Bruno da Cruz Costa. – 2025.

1 recurso online (95 f. : il., color.).

Orientador: Prof. Dr. Marcello Peixoto Bax.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Organização do Conhecimento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Ciência da Informação - Programa de Pós-Graduação em Gestão & Organização do Conhecimento.

Referências: f. 88-93

Apêndice: f. 94-95

1. Finanças descentralizadas (DeFi). 2. Ontologia. 3. Modelagem conceitual. 4. *Blockchain*. I. Bax, Marcello Peixoto. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Ciência da Informação. III. Título

CDU 006.3:336.741.2(043.3)

---

**Bibliotecário:** Phillipe de Freitas Campos | CRB1 3282

Como citar: COSTA, Ricardo Bruno da Cruz. **Modelando finanças descentralizadas: uma proposta de ontologia para o ecossistema DeFi**. 2025. 96 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Organização do Conhecimento) – Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO - ECI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO - PPGOC

## ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO DO ALUNO

### RICARDO BRUNO DA CRUZ COSTA

Realizou-se, no dia 20 de agosto de 2025, às 10:00 horas, por videoconferência, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de dissertação, intitulada *MODELANDO FINANÇAS DESCENTRALIZADAS: uma proposta de ontologia para o ecossistema DeFi*, apresentada por RICARDO BRUNO DA CRUZ COSTA, número de registro 2023652558, graduado no curso de BIBLIOTECONOMIA, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em GESTÃO E ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Marcello Peixoto Bax - ECI/UFMG (Orientador), Prof(a). Patricia Nascimento Silva - ECI/UFMG, Prof(a). Clodoveu Augusto Davis Junior - Instituto de Ciências Exatas/UFMG, Prof(a). Frederico Cesar Mafra Pereira - ECI/UFMG.

A Comissão considerou a dissertação:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 20 de agosto de 2025.

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Marcello Peixoto Bax, Professor do Magistério Superior**, em 21/08/2025, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Clodoveu Augusto Davis Junior, Professor do Magistério Superior**, em 21/08/2025, às 13:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patricia Nascimento Silva, Professora do Magistério Superior**, em 21/08/2025, às 16:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Frederico Cesar Mafra Pereira, Professor do Magistério Superior**, em 21/08/2025, às 18:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4465075** e o código CRC **9EA54AB4**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO - ECI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO - PPGGOC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**MODELANDO FINANÇAS DESCENTRALIZADAS: uma proposta de ontologia para o ecossistema DeFi**

### **RICARDO BRUNO DA CRUZ COSTA**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GESTÃO E ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GESTÃO E ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO, área de concentração CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, linha de pesquisa Gestão e Tecnologia da Informação e Comunicação.

Aprovada em 20 de agosto de 2025, por videoconferência, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Marcello Peixoto Bax (Orientador)  
ECI/UFMG

Prof(a). Patricia Nascimento Silva  
ECI/UFMG

Prof(a). Clodoveu Augusto Davis Junior  
Instituto de Ciências Exatas/UFMG

Prof(a). Frederico Cesar Mafra Pereira  
ECI/UFMG

Belo Horizonte, 20 de agosto de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Marcello Peixoto Bax, Professor do Magistério Superior**, em 21/08/2025, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Clodoveu Augusto Davis Junior, Professor do Magistério Superior**, em 21/08/2025, às 14:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patricia Nascimento Silva, Professora do Magistério Superior**, em 21/08/2025, às 16:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Frederico Cesar Mafra Pereira, Professor do Magistério Superior**, em 21/08/2025, às 18:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4465125** e o código CRC **7A286856**.

Dedico este trabalho à minha avó Cecília  
(*in memoriam*), com quem, infelizmente,  
não tive a oportunidade de ser  
genuinamente verdadeiro.

## AGRADECIMENTOS

Início os agradecimentos deste trabalho à minha mãe, Maria Célia, que, muito além de me dar a vida, sempre me incentivou a manter os estudos e a estar em constante processo de aprendizagem. Estendo, também, meus agradecimentos ao meu pai, Juvenil, e aos meus irmãos, Juliana Cecília e Breno Leonardo.

Entre os amigos mais próximos e os mais distantes, gostaria de registrar aqui alguns nomes que, de certa forma, participaram dessa jornada: Arthur Matta, Cacilda Zocratto, Cauan Fortunato, Elaine Parreiras, Fábio Cossenzo, Filipe Freitas, Guilherme Augusto, Joana Falci, Junio Lopes, Késia Rodrigues, Luciana Fiuza, Luciane Novaes, Mirian Bergo, Paulo Barroso, Rafael Freire, Thiago Reis e Veronika Haag.

Agradeço também à minha psicóloga, Ana Caroline Jesus, que, na reta final deste projeto, me ajudou a compreender a mim mesmo.

À Universidade que me recebeu de braços abertos há 10 anos, deixo meus agradecimentos, por meio da Reitora Prof.<sup>a</sup> Sandra Regina Goulart Almeida, que assina, nesta ocasião, meu terceiro diploma. Estendo, ainda, meus agradecimentos aos docentes desta instituição: Prof.<sup>a</sup> Lorena Tavares, Prof.<sup>a</sup> Ana Paula Meneses, Prof.<sup>a</sup> Sueli Coelho, Prof.<sup>a</sup> Graciella Ravetti (*in memoriam*), Prof. Luiz Francisco, Prof.<sup>a</sup> Miriam Mansur e Prof. Dawisson Belém.

Aos Professores Aziz Saliba e Bárbara Orfanò, deixo um agradecimento especial, pois, à frente da Diretoria de Relações Internacionais, sempre me incentivaram e tornaram possível essa conquista.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Marcello Bax, pelos ensinamentos, pelo conhecimento e pela orientação. Estendo esse agradecimento aos membros da banca: Prof.<sup>a</sup> Patrícia Nascimento, Prof. Clodoveu Davis e Prof. Frederico Mafra.

Por fim, agradeço ao meu marido, Caíque Bruno Fortunato, e ao nosso Shih Tzu, Apollo Bruno, pois, além de minha família, são meu principal suporte em tudo o que faço nesta vida.

## RESUMO

A rápida evolução das Finanças Descentralizadas (DeFi) tem desafiado pesquisadores e desenvolvedores a lidar com a heterogeneidade terminológica do domínio, o que dificulta a interoperabilidade entre plataformas e a clareza conceitual. Embora existam propostas ontológicas voltadas a aspectos específicos da *blockchain*, ainda há lacunas quanto a um modelo abrangente que integre as dimensões técnicas e econômicas centrais ao ecossistema DeFi. Diante desse cenário, esta pesquisa propõe a construção de uma ontologia voltada ao domínio das Finanças Descentralizadas, com o objetivo de representar, estruturar e padronizar os conceitos essenciais deste campo. Este estudo buscou identificar os principais requisitos conceituais e terminológicos da DeFi na literatura; mapear os elementos centrais do ecossistema, considerando suas camadas técnicas, operacionais e de negócio; desenvolver uma ontologia formalizada, utilizando OWL, com base em casos de uso representativos do ecossistema DeFi; e validar a ontologia proposta por meio de consultas SPARQL e simulações aplicadas. A pesquisa se caracteriza como qualitativa, exploratória e aplicada, tendo sido dividida em três etapas, cada uma correspondente a um objetivo específico. Inicialmente, foram analisadas ontologias existentes (como BLONDiE, EthOn e OntoFINE), além de conceitos extraídos de estudos teóricos sobre *blockchain*, contratos inteligentes, arquitetura multicamadas e modelos de negócio em DeFi. A partir dessa base, foram elaborados casos de uso para subsidiar o processo de modelagem. Como resultado, obteve-se a DeFi-Ontology, que organiza de maneira integrada os componentes do ecossistema descentralizado, promovendo padronização e facilitando o reuso. A ontologia revelou-se eficaz ao representar as questões de competência e apoiar o desenvolvimento de DApps. Conclui-se que o modelo proposto é um instrumento útil para pesquisadores e profissionais da área, fornecendo suporte conceitual e técnico para o avanço das Finanças Descentralizadas.

Palavras-chave: ontologia; DeFi; finanças descentralizadas; modelagem conceitual.

## **ABSTRACT**

The rapid evolution of Decentralized Finance (DeFi) has challenged researchers and developers to deal with the terminological heterogeneity of the domain, which hinders interoperability across platforms and conceptual clarity. Although there are ontological proposals addressing specific aspects of blockchain, gaps remain regarding a comprehensive model that integrates both technical and economic dimensions central to the DeFi ecosystem. In this context, this research proposes the construction of an ontology focused on the domain of Decentralized Finance, aiming to represent, structure, and standardize the essential concepts of this field. This study sought to identify the main conceptual and terminological requirements of DeFi in the literature; to map the core elements of the ecosystem, considering its technical, operational, and business layers; to develop a formalized ontology, using OWL, based on representative use cases of the DeFi ecosystem; and to validate the proposed ontology through SPARQL queries and applied simulations. The research is characterized as qualitative, exploratory, and applied, and was divided into three stages, each corresponding to a specific objective. Initially, existing ontologies (such as BLONDIE, EthOn, and OntoFINE) were analyzed, along with concepts drawn from theoretical studies on blockchain, smart contracts, layered architecture, and DeFi business models. Based on this foundation, use cases were developed to support the modeling process. As a result, the DeFi-Ontology was obtained, which integrates and organizes the components of the decentralized ecosystem, promoting standardization and facilitating reuse. The ontology proved effective in representing competency questions and supporting the development of DApps. It is concluded that the proposed model is a useful instrument for researchers and professionals in the field, providing conceptual and technical support for the advancement of Decentralized Finance.

**Keywords:** ontologies; DeFi; decentralized finance; conceptual modeling.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1. Problema de pesquisa.....	12
1.2. Objetivos.....	14
1.2.1. Objetivo geral.....	14
1.2.2. Objetivos específicos.....	14
1.3. Justificativa e relevância.....	14
1.4. Estrutura da dissertação.....	16
1.5. Declaração de Inteligência Artificial.....	16
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
2.1. Finanças Descentralizadas.....	18
2.1.1. Blockchain.....	19
2.1.2. Contratos Inteligentes.....	20
2.1.3. Desintermediação.....	21
2.1.4. Arquitetura multicamadas.....	22
2.1.5. Modelos de negócio.....	23
2.1.6. Oráculos.....	27
2.2. Ontologias.....	28
2.2.1. Blockchain Ontology with Dynamic Extensibility.....	31
2.2.2. Ethereum Ontology.....	32
2.2.3. Ontology Network in Finance and Economics.....	34
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
<b>4. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>40</b>
4.1. Identificação da heterogeneidade conceitual.....	40
4.2. Escopo da ontologia.....	42
4.3. Elaboração de Casos de Usos.....	42
4.3.1. Caso de Uso: Interação com Aave.....	43
4.3.2. Caso de Uso: Troca de Tokens com Uniswap.....	46
4.3.3. Caso de Uso: Seguro Agrícola com Oráculo Climático.....	49

4.4. Construção da ontologia.....	52
4.4.1. Especificação.....	52
4.4.2. Levantamento de Competência.....	53
4.4.3. Modelagem.....	54
4.4.4. Implementação.....	73
4.4.5. Avaliação.....	74
4.4.5.1. Análise das Questões de Competência.....	75
4.4.5.2. Estudo de Caso: uma aplicação simples.....	79
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>83</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>85</b>
6.1. Limitações.....	86
6.2. Trabalhos Futuros.....	86
6.3. Contribuições do trabalho.....	87
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE DA APLICAÇÃO DESCENTRALIZADA.....</b>	<b>94</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O mundo das finanças descentralizadas (DeFi) tem testemunhado uma rápida e revolucionária transformação na forma como as transações financeiras ocorrem, redefinindo as estruturas tradicionais do sistema financeiro global. A DeFi emerge como um campo inovador no universo dos criptoativos, desafiando as estruturas financeiras tradicionais ao possibilitar transações transparentes e automatizadas sem a necessidade de intermediários (Ojog, 2021). A DeFi busca criar infraestruturas e serviços financeiros alternativos, fundamentados em princípios como descentralização e transparência, oferecendo uma alternativa aos sistemas financeiros convencionais. A DeFi utiliza contratos inteligentes para oferecer protocolos que replicam serviços financeiros de forma mais aberta, interoperável e transparente. Ao integrar os princípios de descentralização, transparência e automatização, esses protocolos buscam democratizar o acesso aos serviços financeiros, em alguns casos reduzir custos e eliminar barreiras geográficas e socioeconômicas.

À medida que a DeFi continua a conquistar o centro das atenções e atrai uma crescente base de usuários e investidores, emerge um desafio na área da ciência da informação que ameaça a eficiência e a maturidade nos estudos dessa inovação disruptiva: a heterogeneidade conceitual. Essa multiplicidade conceitual se amplifica com a característica de composibilidade de DeFi, em que os componentes do sistema podem ser facilmente conectados para satisfazer a novas necessidades (Popescu, 2020). Essa variedade de possibilidades de composição de componentes de DeFi sem uma devida taxonomia e formalização de modelos aumenta o risco tecnológico e econômico (Werner *et al.*, 2022). Tal desafio manifesta-se na forma de um “labirinto” terminológico envolvendo conceitos e protocolos que, embora aparentemente interconectados, frequentemente colidem devido à ambiguidade e divergências na sua interpretação e aplicação. A complexidade inerente a este ecossistema descentralizado tem gerado desafios para os envolvidos.

Neste estudo, propõe-se desenvolver uma ontologia para a DeFi, projetada para abordar e mitigar o problema da heterogeneidade conceitual. Conforme Gruber (1995, p. 908), uma ontologia é um relato sistemático da existência, onde é definido o vocabulário com o qual as consultas e asserções são trocadas entre os agentes. Neste contexto, a ontologia serve como uma estrutura

semântica que define os termos, relações e conceitos que compõem a DeFi. Ao se fazer isso, cria-se um vocabulário comum e uma base de entendimento compartilhado que vá além de fronteiras geográficas e barreiras culturais. Com o avanço da tecnologia e propagação da informação em diversos contextos acadêmicos, científicos e profissionais

pesquisadores lançam-se na tarefa de sistematizar e estruturar o conhecimento científico em domínios específicos e disponibilizá-lo publicamente na Web, através das chamadas ontologias, de modo a permitir que comunidades científicas compartilhem informações sobre domínios específicos (Marcondes e Campos, 2008, p. 112).

As ontologias vêm sendo utilizadas para organizar e estruturar o conhecimento em diversos domínios. A pesquisa propõe-se a desenvolver uma ontologia para modelar conceitualmente o ecossistema DeFi fazendo o reuso de ontologias similares pré-existentes, voltadas para contextos mais específicos. Ao analisar os conceitos e características das ontologias existentes, busca-se identificar lacunas e oportunidades para desenvolver uma ontologia adaptável às necessidades do ecossistema DeFi.

Ao analisar os estudos e aplicações DeFi percebe-se a heterogeneidade conceitual como um fenômeno que reflete a diversidade de interpretações, definições e aplicações em contextos variados. Essa heterogeneidade surge também, naturalmente, da confluência de múltiplas disciplinas, cada uma trazendo suas próprias perspectivas, vocabulários e abordagens para entender e organizar a informação. Essa diversidade conceitual pode ser observada em como diferentes comunidades acadêmicas ou profissionais definem conceitos fundamentais como "dados", "informação", e "conhecimento", o que, por sua vez, influencia a maneira como sistemas de informação são projetados e implementados.

### **1.1. Problema de pesquisa**

No contexto DeFi, a heterogeneidade conceitual se torna ainda mais pronunciada devido à natureza emergente do campo. Termos como "descentralização", "contratos inteligentes", e "*tokenização*" podem ter significados distintos dependendo do contexto técnico, jurídico ou econômico em que são utilizados. Por exemplo, enquanto para Frajhof (2019) a descentralização pode se

referir à ausência de uma autoridade central em redes *blockchain*, para Rochman (2023), pode envolver nuances de governança distribuída ou a autonomia dos usuários dentro de um ecossistema financeiro. Ou seja, enquanto o primeiro autor enfatiza a descentralização como uma característica fundamental da tecnologia *blockchain* que elimina intermediários em transações financeiras, o segundo explora a descentralização como um princípio operacional e de governança dentro do ecossistema DeFi, onde os usuários têm maior controle e autonomia sobre seus ativos e decisões. Tais diferentes concepções sobre o significado do conceito “descentralização” implicariam na definição de dois conceitos diferentes, ou poderiam ser harmonizadas em apenas um conceito? A descentralização é um conceito especialmente importante em DeFi e alguns trabalhos questionam a real descentralização dos serviços DeFi (Ao *et al.* 2023).

Vale ressaltar contudo, que embora a heterogeneidade conceitual possa ser vista como um desafio para a padronização entre sistemas e práticas, ela também pode constituir uma condição facilitadora da inovação. Com efeito, a pluralidade de perspectivas estimula o desenvolvimento de soluções mais adaptáveis, capazes de atender a diferentes necessidades e contextos. No entanto, em senso estrito, é importante que haja um esforço para conciliar variações conceituais, promovendo um diálogo interdisciplinar que possibilite a criação de *frameworks* interoperáveis. Nesse sentido, as ontologias ajudam no entendimento mais preciso sobre onde duas ou mais perspectivas conceituais apresentam divergências.

Ao fornecer uma estrutura conceitual clara e compartilhada para descrever e categorizar os diferentes componentes e processos das DeFi, uma ontologia, em teoria, facilitaria a pesquisa acadêmica e a inovação tecnológica. Pesquisadores poderiam se basear em uma ontologia para desenvolver novas teorias, ferramentas e aplicações, enquanto os desenvolvedores poderiam utilizá-la para criar soluções mais eficientes e seguras. A presente pesquisa foi norteadada pela seguinte questão: Como uma ontologia pode contribuir para mitigar o problema da heterogeneidade conceitual interna ao Ecossistema DeFi, facilitando assim a comunicação entre os membros da comunidade e possibilitando a produção de melhores especificações conceituais e, em última análise, colaborando para o desenvolvimento do campo?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. *Objetivo geral*

O objetivo geral da pesquisa é:

- Desenvolver uma ontologia para o ecossistema DeFi, visando contribuir para a padronização conceitual e promoção da interoperabilidade entre diferentes plataformas e protocolos, no uso de aplicações descentralizadas (DApps).

### 1.2.2. *Objetivos específicos*

- Identificar e selecionar na literatura os requisitos essenciais para a construção de uma ontologia em DeFi.
- Mapear, classificar e definir, os elementos e componentes essenciais de um ecossistema DeFi, estabelecendo um referencial teórico para a construção da ontologia.
- Construir uma ontologia utilizando os conceitos mais demandados por casos de uso e recorrentes na literatura estudada, assegurando que a estrutura desenvolvida reflita as práticas e necessidades do ecossistema DeFi.
- Avaliar a capacidade da ontologia criada em atender às expectativas e demandas da área de DeFi.

## 1.3. Justificativa e relevância

A criação de uma ontologia para o ecossistema DeFi se justifica devido à complexidade e ao rápido crescimento deste campo. Como apontado por Gruber (1995), uma ontologia formalizada é essencial para a organização e padronização de conceitos dentro de um domínio específico, permitindo uma comunicação mais eficiente e a interoperabilidade entre diferentes sistemas e atores. No caso das DeFi, onde novos termos e práticas surgem constantemente, uma ontologia pode servir como uma estrutura satisfatória para alinhar o entendimento entre os mais diversos atores em um ambiente mais coeso e seguro.

Tal proposta pode trazer benefícios científicos por várias razões, que vão além da simples organização de informações. A natureza em rápida evolução do campo das DeFi significa que há uma proliferação de novos conceitos, terminologias

e práticas que podem variar significativamente entre diferentes projetos e comunidades. Uma ontologia bem estruturada ajudaria a estabelecer uma base comum de entendimento, facilitando a integração e o desenvolvimento de novas tecnologias dentro desse ecossistema.

DeFi envolve contratos inteligentes, protocolos e sistemas que muitas vezes operam de maneira automatizada e em escala global. Uma ontologia poderia servir como um *framework* para garantir que todos os participantes e sistemas estejam operando com as mesmas definições e padrões, minimizando riscos de mal-entendidos que poderiam levar a vulnerabilidades ou falhas sistêmicas.

Segundo Noy e McGuinness (2001), ontologias desempenham um papel importante na clarificação de conceitos, facilitando a construção de conhecimento compartilhado e a comunicação entre diferentes disciplinas e áreas de expertise. No contexto das DeFi, essa clarificação é ainda mais necessária, uma vez que o campo envolve uma confluência de áreas como ciência da computação, economia, e direito, cada uma com suas próprias terminologias e perspectivas.

Uma ontologia bem estruturada pode contribuir significativamente para a segurança e eficiência das plataformas DeFi. De acordo com Uschold e Grüninger (1996), ontologias fornecem uma base consistente para o desenvolvimento de sistemas tecnológicos, permitindo que novas aplicações sejam integradas de maneira mais eficiente e segura. No caso das DeFi, onde a segurança é uma preocupação constante devido à natureza descentralizada e automatizada das transações, uma ontologia pode mitigar riscos ao estruturar práticas e conceitos, garantindo que todos os sistemas operem de acordo com os mesmos critérios de segurança e funcionalidade. Dessa forma, a pesquisa proposta contribui para o avanço no campo da DeFi e fornece implicações práticas para a evolução segura e sustentável desse ecossistema.

Na literatura existem ontologias para contextos específicos que serão exploradas no referencial teórico, porém a ontologia proposta difere das ontologias existentes, ao integrar, em um único modelo conceitual, tanto os aspectos técnicos da infraestrutura *blockchain*, quanto os componentes econômicos e operacionais centrais ao ecossistema DeFi, como liquidez, governança e mecanismos de mercado. A presente proposta busca representar o ecossistema de forma mais abrangente e prática, alinhando a arquitetura multicamadas de DeFi e as

inter-relações entre protocolos, ativos e agentes. Essa abordagem é essencial para mitigar a heterogeneidade conceitual do domínio, facilitar a interoperabilidade entre sistemas e prover suporte formal à concepção e implementação de soluções DeFi que envolvem a interação simultânea entre dimensões tecnológicas e financeiras.

A motivação para esta pesquisa é impulsionada pela análise crítica da evolução da DeFi e da complexidade que caracteriza esse ecossistema. A ausência de uma terminologia padronizada e a ambiguidade que permeia os conceitos fundamentais das DeFi geram incertezas, elevam os riscos e dificultam a colaboração eficiente entre os diversos agentes. Dessa forma, a pesquisa é motivada pela necessidade de enfrentar essa questão, visando garantir o desenvolvimento e a integridade do ecossistema DeFi.

#### **1.4. Estrutura da dissertação**

A dissertação foi organizada em seis Seções. Na Seção 1, tem-se a introdução, composta pela definição do problema, objetivo geral, objetivos específicos, justificativa e a estruturação da dissertação. A Seção 2 aborda os apresenta o referencial teórico utilizado dividido em duas partes: finanças descentralizadas e ontologias.

Em continuidade, a Seção 3 descreve a metodologia de pesquisa, tal como a metodologia de construção de ontologias utilizada. A Seção 4 apresenta o desenvolvimento do trabalho, desde a definição do escopo adotado, passando pelos casos de usos e finalmente a construção da ontologia conforme as etapas propostas utilizando o método adotado. Em seguida a Seção 5, dos resultados, retoma o processo e discorre sobre o atendimento dos objetivos proposto por esse estudo, e o que se obteve de insumo científico.

A Seção 6 descreve as considerações finais, contendo o resumo dos principais pontos abordados ao longo do trabalho, os desafios, as limitações e trabalhos futuros. Como elementos pós-textuais, encontram-se as referências utilizadas e o apêndice.

#### **1.5. Declaração de Inteligência Artificial**

O autor utilizou o Chat GPT como ferramenta auxiliar na geração dos casos de uso descritos na Seção 4.3, como auxílio para resolução de bugs no estudo de

caso descrito na Seção 4.4.5.2 e para verificação gramatical e ortográfica do documento. Após o uso da ferramenta, o autor revisou e editou o conteúdo conforme necessário e assume total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Finanças Descentralizadas

De acordo com a *Ethereum Foundation* (s.d.), as Finanças Descentralizadas constituem um sistema financeiro aberto e global, projetado especificamente para a era da internet. Este sistema representa uma alternativa a um modelo financeiro centralizado e opaco, rigidamente controlado e sustentado por uma infraestrutura oligopólica. As aplicações DeFi oferecem acesso a uma variedade de serviços financeiros para qualquer pessoa que tenha uma conexão com a internet e o conhecimento necessário para interagir com a Web3. Conforme Schär (2021), o termo DeFi geralmente se refere a um conjunto de protocolos abertos e interoperáveis, construídos em plataformas digitais públicas. Segundo o autor, o DeFi busca replicar os serviços financeiros tradicionais de maneira mais aberta e transparente, eliminando a dependência de intermediários e instituições centralizadas. É fundamentado em protocolos abertos e aplicações descentralizadas (DApps).

As DeFi possuem uma série de vantagens comparadas aos sistemas financeiros tradicionais. Mellia (2022, p. 20-22), em uma análise SWOT do sistema, elucidou alguns benefícios, como desintermediação, redução de custos, transparência, horário de funcionamento, automação e segurança de transação. Além disso, Uzougbo, Ikegwu e Adewusi (2024) reforçam que as DeFi representam uma mudança de paradigma no setor financeiro tradicional. Afinal, o crescimento do ecossistema DeFi tem sido notável, com o valor total de ativos presentes em transações aumentando para mais de bilhões de dólares. Esse crescimento é impulsionado por fatores como o potencial de bons rendimentos e a eliminação de intermediários. O funcionamento das DeFi é possível pois nesse princípio da descentralização as transações são operadas em uma rede *blockchain*.

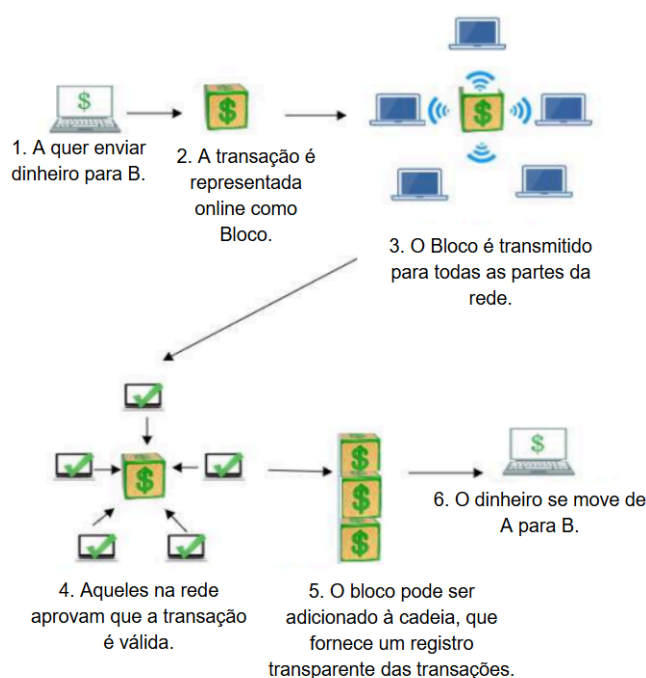
Desde sua ascensão vários estudos vêm sendo realizados sobre DeFi e suas aplicações na sociedade, sendo um dos primeiros trabalhos o de Nakamoto (2008) que introduz o conceito de um sistema descentralizado ponto a ponto (*peer-to-peer*) que vem a operar sem intermédio de bancos e governos. Com isso outros autores também ingressaram nessas pesquisas e começaram a surgir diversos outros estudos em vários domínios da DeFi, como créditos, seguros e gestão de ativos. O

estudo de Böhme *et al.* (2015) explora o potencial da tecnologia *blockchain* para competir com o setor bancário tradicional, permitindo empréstimos ponto a ponto.

### 2.1.1. **Blockchain**

A *blockchain*, originalmente concebida como a tecnologia subjacente ao Bitcoin, é uma estrutura digital que permite o registro descentralizado, imutável e seguro de transações entre diferentes partes. Nakamoto (2008), descreveu a *blockchain* como um sistema de registro distribuído que mantém uma lista encadeada de blocos, cada um contendo um conjunto de transações e um *hash* criptográfico do bloco anterior, formando assim uma cadeia contínua. Essa estrutura garante que, uma vez que um dado seja registrado na *blockchain*, ele não possa mais ser alterado, oferecendo uma solução contra fraudes e manipulações, uma característica central que tem impulsionado sua adoção em diversas indústrias, para além das criptomoedas. Um exemplo é a *tokenização* de ativos reais (financeiros, imobiliários etc.), que possibilita a sua disponibilização para serem negociados em mercados muito amplos e abertos 24 horas por dia. A Figura 1 apresentada abaixo apresenta um fluxo do funcionamento de uma *blockchain*.

Figura 1: Fluxo do funcionamento de uma *blockchain*



Fonte: Sarmah (2018, p. 25, tradução nossa)

Além de sua função como um livro-razão distribuído, a *blockchain* é amplamente reconhecida por sua capacidade de eliminar a necessidade de intermediários externos, como bancos ou instituições governamentais, em transações digitais.

De acordo com Tapscott e Tapscott (2016), a *blockchain* pode ser vista como a "Internet do Valor", um sistema no qual transações financeiras e dados são transferidos diretamente entre usuários, de forma segura e transparente, sem a necessidade de uma entidade central externa para validar ou verificar essas operações. Esse aspecto tem o potencial de revolucionar não apenas o setor financeiro, mas também áreas como a cadeia de suprimentos, saúde e registros governamentais, onde a confiança e a segurança são essenciais.

Jensen, Wachter e Ross (2021) diferenciam *blockchains* de dois tipos: "com permissão" (*permissioned*) e "sem permissão" (*permissionless*). *Blockchains* sem permissão são ambientes abertos acessíveis a todos, enquanto *blockchains* com permissão são inacessíveis para partes externas não reconhecidas por um administrador de sistema.

### 2.1.2. **Contratos Inteligentes**

A *blockchain* também se destaca por sua natureza programável, permitindo a implementação de contratos inteligentes que executam automaticamente acordos quando determinadas condições são atendidas. Segundo Buterin (2014), contratos inteligentes são programas de computador que codificam regras e acordos, automatizando a execução de contratos sem a necessidade de intervenção humana. Essa funcionalidade expande significativamente as possibilidades de uso da *blockchain*, permitindo a criação de DApps que operam de forma autônoma e transparente, contribuindo para a formação de um novo paradigma de confiança digital e colaboração global.

Conforme Harvey, Ramachandran e Santoro (2021), os contratos inteligentes oferecem um ganho imediato em termos de clareza e visibilidade. Todas as partes envolvidas têm acesso às informações sobre os recursos financeiros dos seus respectivos parceiros e, quando necessário, podem acompanhar de que forma esses recursos serão aplicados. Diversas disposições comuns em contratos

tradicionais podem ser incorporadas a um contrato inteligente, que, além de descrevê-las, é capaz de executá-las automaticamente por meio de programação. O uso de contratos inteligentes não se limita ao setor financeiro, estendendo-se também a contextos como jogos digitais, gestão de dados e logística, entre outras áreas.

### 2.1.3. **Desintermediação**

Uma das principais características do DeFi, segundo Harvey, Ramachandran e Santoro (2021), é a desintermediação, ou seja, a substituição de instituições tradicionais por protocolos automatizados que executam regras previamente estabelecidas. O autor contrapõe a DeFi ao sistema financeiro tradicional em diversos aspectos. Enquanto as finanças tradicionais são centralizadas, dependem de intermediários e possuem processos burocráticos, o DeFi opera de forma descentralizada, automatizada e com acesso global. A transparência, por exemplo, é limitada nos bancos, enquanto no DeFi todas as informações estão disponíveis na *blockchain*. O acesso aos serviços financeiros convencionais é, muitas vezes, restrito e condicionado a fatores como localização e histórico de crédito, ao passo que o DeFi é aberto a qualquer usuário. Além disso, a velocidade das transações nas finanças tradicionais é frequentemente prejudicada por processos manuais e regulatórios, enquanto no DeFi elas ocorrem quase instantaneamente.

Conforme Jensen, Wachter e Ross (2021) as DeFi, geram novos tipos de aplicativos financeiros abertos implantados em *blockchains*, uma forma de estrutura de banco de dados distribuída na qual uma rede descentralizada de participantes conserva um único registro de eventos.

Gramlich *et al.* (2023) escreve que as DeFi constituem um sistema financeiro descentralizado que viabiliza a oferta e uso de serviços e instrumentos financeiros sem a dependência de intermediários, uma vez que esse sistema opera através de redes de *blockchains* públicas (*permissionless*) e contratos inteligentes. Embora os estudiosos das disciplinas de sistemas de informação e gestão reconheçam a novidade e o impacto potencial das tecnologias *blockchain*, o trabalho teórico ou empírico sobre DeFi permanece escasso.

Os protocolos DeFi usam contratos inteligentes para oferecer uma variedade de serviços financeiros de forma mais aberta, visando democratizar o acesso a

esses serviços e reduzir barreiras geográficas e socioeconômicas (Gramlich *et al.*, 2023).

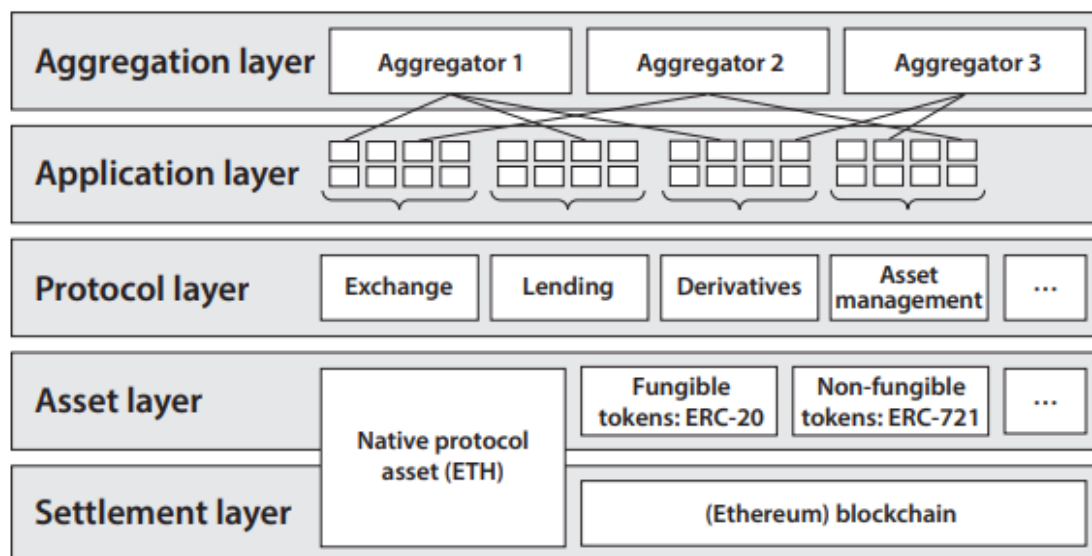
De acordo com Jensen, Wachter e Ross (2021), a *blockchain* é uma forma de arquitetura de banco de dados distribuído, na qual uma rede descentralizada de partes interessadas mantém uma única máquina de estados. Esta máquina de estados registra o status de um objeto em um dado momento e pode modificar esse status por meio de transições de estado ou executar ações baseadas nas entradas recebidas. Os estados representam diferentes combinações de informações que definem o estado atual do objeto. Na *blockchain*, as transações correspondem a estados distribuídos entre os participantes da rede em blocos de dados, cuja segurança e integridade são garantidas pela criptografia. Um protocolo de consenso define as regras para assegurar a validade das transações no banco de dados distribuído ao longo do tempo.

Em um dos primeiros artigos acadêmicos que estruturam o conceito de DeFi e seus principais componentes, Schär (2021, p. 153) descreve o DeFi como uma pilha de protocolos abertos, sem necessidade de autorização e altamente interoperáveis, criados em plataformas públicas de contratos inteligentes, onde o autor define a arquitetura multicamadas.

#### 2.1.4. **Arquitetura multicamadas**

Na arquitetura multicamadas, detalhada por Schär (2021, p. 155), cada camada tem um propósito específico e complementa as demais, formando uma estrutura em pilha que resulta em um modelo de infraestrutura aberto e composicional. Conforme ilustrado na Figura 2, o autor destaca ainda que essas camadas são hierárquicas, transferindo suas características das camadas inferiores para as superiores. Os conceitos presentes na arquitetura de Schär (2021, p. 155-156) podem ser considerados o núcleo da arquitetura, pois estabelecem a base estrutural necessária para o funcionamento das finanças descentralizadas. Esses conceitos são fundamentais para compreender o ecossistema DeFi no que tange à sua arquitetura, permitindo que os desenvolvedores reflitam sobre a interoperabilidade e a combinação dos diferentes componentes do ecossistema DeFi.

Figura 2 – Arquitetura de DeFi definida em camadas



Fonte: Schar (2021, p. 156)

Schär (2021) estrutura a DeFi em cinco camadas que ajudam a compreender o funcionamento desse ecossistema. A primeira delas é a Camada de Liquidação, representada pela infraestrutura *blockchain*, que garante a segurança e a imutabilidade dos registros de transações. A segunda é a Camada de Ativos, composta por criptomoedas, *tokens* e *stablecoins*, que atuam como unidades de valor e garantia de colateral para operações financeiras. Em seguida, surge a Camada de Protocolos, formada por contratos inteligentes que automatizam serviços como empréstimos, trocas de ativos e a emissão de *stablecoins*. A quarta camada é a Camada de Aplicações Descentralizadas, representada por interfaces que facilitam o acesso dos usuários aos protocolos, como Metamask e Zapper. Por fim, a Camada de Agregação integra diferentes protocolos e otimiza operações, por meio de plataformas que ajudam os usuários a buscar melhores retornos e taxas em suas transações.

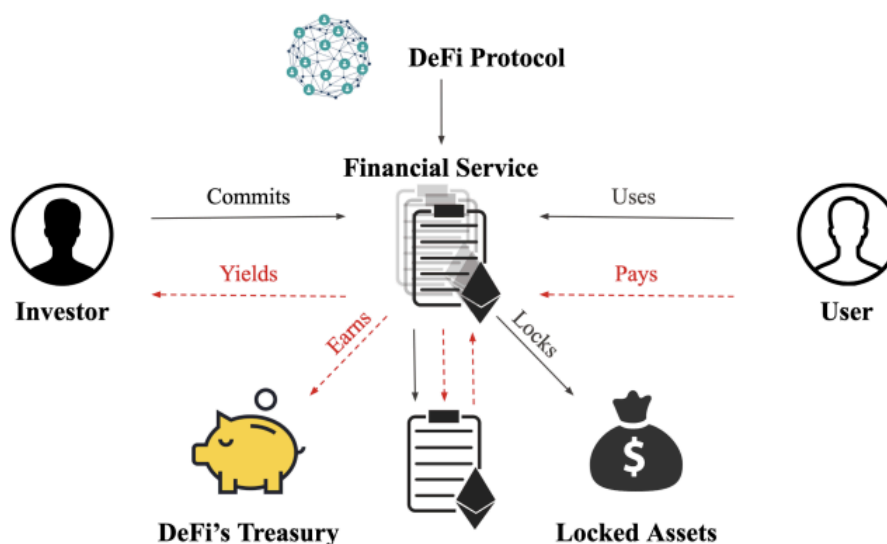
#### 2.1.5. Modelos de negócio

Dentro do ecossistema de DeFi, os modelos de negócios descritos por Xu e Xu (2022) detalham diversas formas de monetização e funcionamento das plataformas. Em seu estudo, os autores sintetizam os modelos de negócio e fornecem uma estrutura geral ilustrada na Figura 3. Essa estrutura presente na

“camada de protocolo” envolve diferentes atores: Protocolo DeFi, Investidor, Usuário e Serviço Financeiro.

Para Xu e Xu (2022, p. 6), os protocolos DeFi consistem em um conjunto de contratos inteligentes com múltiplas facetas que fornecem serviços financeiros abertos, sem custódia de ativos e combináveis entre si (composição). Os investidores são atores dispostos a assumir o risco subjacente do protocolo em troca de renda. Os usuários são aqueles que utilizam o protocolo, sem expectativa de retorno financeiro a longo prazo, solicitando movimentações de ativos e pagando as taxas de juros do protocolo. O Serviço Financeiro (*Financial Service* na Figura 3), é o núcleo de todo o protocolo. Ele é responsável por bloquear ativos, atender às solicitações de movimentação e evitar o uso indevido do protocolo.

Figura 3 – Modelo de negócio do mecanismo comum de DeFi



Fonte: Xu e Xu (2022, p. 6)

Para completar o pressuposto adotado do que compõe o guarda-chuva do ecossistema DeFi, os conceitos e relações de Jensen, Wachter e Ross (2021) examinam as interações entre os diferentes atores do ecossistema, como usuários, desenvolvedores e provedores de liquidez, além de abordar as dinâmicas de confiança e governança descentralizada, essenciais para o seu funcionamento. Através do uso de contratos inteligentes, as plataformas DeFi permitem a execução

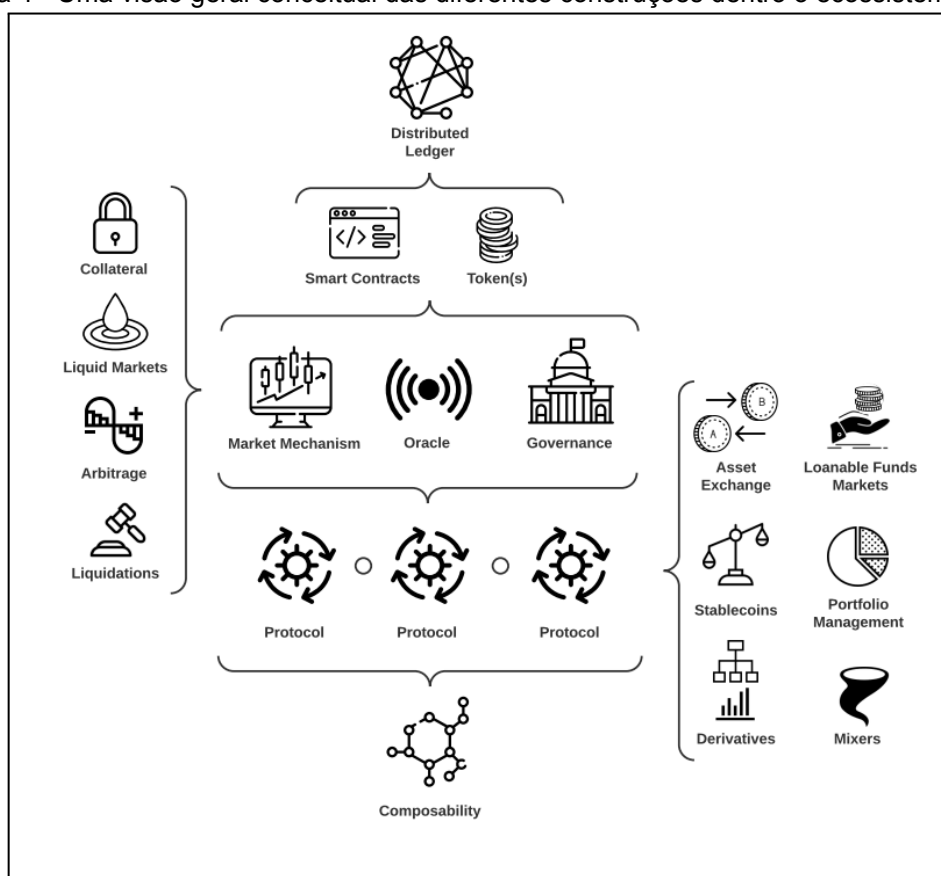
automática de transações financeiras, incluindo empréstimos, negociações e seguros, de forma segura e transparente.

Jensen, Wachter e Ross (2021) destacam a importância da tecnologia *blockchain* na viabilização do DeFi, enfatizando como a imutabilidade e a transparência dos registros em *blockchain* contribuem para a confiança e segurança dos usuários. Além disso, o estudo explora os benefícios de DeFi, como a inclusão financeira, ao permitir que pessoas em regiões sub-bancarizadas ou sem acesso a serviços financeiros tradicionais possam participar do sistema financeiro global. No entanto, os autores também discutem os desafios e riscos associados ao DeFi, incluindo questões de escalabilidade, regulamentação e a potencial vulnerabilidade a ataques cibernéticos. O texto oferece uma análise crítica sobre o futuro do DeFi, ponderando sobre como essa inovação pode transformar o sistema financeiro global. Os autores sugerem que, apesar dos desafios significativos, o crescimento contínuo e a adoção do DeFi têm o potencial de democratizar o acesso a serviços financeiros e fomentar um ambiente mais inclusivo e transparente.

Jensen, Wachter e Ross (2021), examinam as potenciais implicações, complexidades e riscos associados à proliferação de aplicações DeFi voltadas para o consumidor. Embora as aplicações DeFi implementadas em *blockchains permissionless* apresentem um potencial radical para transformar os serviços financeiros, os riscos associados ao envolvimento com estas aplicações permanecem importantes. Ao descrever diversos conceitos do ecossistema, o referido estudo também estabelece a relação dos agentes com seu papel, os incentivos à participação e o risco principal de cada um.

Werner *et al.*, (2021) apresenta uma sistematização do conhecimento (SoK) delineando o ecossistema DeFi nos seguintes eixos: suas primitivas, seus tipos de protocolos operacionais e sua segurança. O estudo fornece uma distinção entre segurança técnica, que tem uma literatura robusta, e segurança econômica, que é amplamente inexplorada, conectando a última com novos modelos e, assim, sintetiza *insights* da Ciência da Informação, Economia e Finanças.

Figura 4 - Uma visão geral conceitual das diferentes construções dentro o ecossistema DeFi



Fonte: Werner et al. 2021, p. 3

A Figura 4 representa uma visão geral dos diferentes termos mais usados dentro da arquitetura DeFi organizados em cinco (5) eixos. No topo estão os livros-razão (*distributed ledgers*) que armazenam os elementos da camada inferior com dois tipos de ativos digitais que populam os extratos distribuídos, os contratos inteligentes e os *tokens*. De acordo com Antonopoulos (2014), os contratos inteligentes são implantados em uma rede *blockchain*, onde são executados de forma descentralizada e imutável (*non-tamper*<sup>1</sup>), com o objetivo de automatizar acordos entre duas partes para realizar transações financeiras de forma transparente e segura. Os tokens representam ativos digitais e são usados tanto como meio de valor quanto como instrumentos de governança.

Interligando esses contratos inteligentes, são apresentados um conjunto de mecanismos: *Market Mechanisms* (mecanismos de mercado, como “*automated market makers*” que fornecem liquidez por meio de regras de precificação

<sup>1</sup>Contratos inteligentes (*smart contracts*) são projetados para serem não-alteráveis após a sua implantação na *blockchain*.

simples), *Oracle* (oráculos, responsáveis por trazer dados externos para a blockchain, como preços de ativos), e *Governance* (governança, processos que definem como protocolos podem evoluir ao longo do tempo). Esses três elementos possibilitam que os contratos inteligentes funcionem corretamente e adaptem-se às mudanças no ambiente.

No núcleo da figura estão os *Protocols*, representando diferentes aplicações DeFi. Eles operam de forma interconectada e suportam funcionalidades específicas. O conceito de *Composability* está diretamente relacionado a essa camada, destacando a capacidade de combinar múltiplos protocolos.

À esquerda da imagem, são apresentados os mecanismos de suporte essenciais ao funcionamento do ecossistema. *Collateral* refere-se à garantia fornecida pelos usuários para contrair empréstimos, geralmente em valor superior ao do crédito. *Liquid Markets* garantem que ativos possam ser negociados com facilidade. *Arbitrage* é o processo de explorar diferenças de preço entre mercados para obter lucro, promovendo eficiência. Por fim, *Liquidations* são os processos que vendem garantias quando os empréstimos tornam-se subcolateralizados.

À direita, estão ilustradas as principais categorias de serviços financeiros oferecidos pelos protocolos DeFi. Estes incluem *Asset Exchange* (troca de ativos via DEXs), *Loanable Funds Markets* (empréstimos e financiamentos descentralizados), *Stablecoins* (moedas estáveis garantidas por colateral), *Derivatives* (contratos que derivam valor de outros ativos), *Portfolio Management* (gestão de carteiras de ativos), e *Mixers* (ferramentas de garantia de privacidade que dificultam o rastreamento de transações).

A estrutura da imagem revela, portanto, a natureza modular, descentralizada e composicional do ecossistema DeFi. Cada componente interage com os demais de forma programável e auditável, permitindo que diferentes serviços financeiros sejam combinados de forma criativa, escalável e transparente, como enfatizado por Werner *et al.* (2021).

#### 2.1.6. **Oráculos**

Conforme Werner *et al.* (2021, p. 3) dentro do contexto DeFi, os oráculos são serviços que fornecem dados do mundo real para alimentar os contratos inteligentes na *blockchain*, permitindo que esses contratos automatizem a execução de

transações financeiras. De acordo com Sousa (2023) este termo começou a ser inserido no contexto das blockchains quando identificou-se a necessidade de garantir que todo e qualquer dado alimentado na rede siga o princípio da integridade. É importante levar em consideração a confiabilidade os oráculos destacados por Al Breiki *et al.* (2020) ao questionar que, embora os oráculos desempenhem um papel essencial ao permitir que contratos inteligentes acessem dados do mundo externo, sua utilização introduz riscos significativos à integridade dos sistemas baseados em *blockchain*. Os autores destacam que, ao dependerem de fontes externas de informação, os oráculos podem comprometer a confiabilidade dos dados, especialmente quando essas fontes são centralizadas. Esse modelo reintroduz, de forma crítica, o problema da centralização em um ecossistema cujo princípio fundamental é justamente a descentralização, além de abrir espaço para a entrada de informações maliciosas ou incorretas na *blockchain*.

## 2.2. Ontologias

Uma definição de ontologia foi apresentada por Gruber (1995, p. 2), que a descreve como uma "especificação explícita de uma conceitualização", um termo originado da Filosofia. As ontologias se caracterizam por permitir que termos, estruturados como classes, relações, funções ou outros objetos, sejam associados a textos que descrevem seus significados e axiomas, os quais delimitam a interpretação e o uso desses termos. Dessa forma, garante-se um entendimento consistente e compartilhado do vocabulário que compõe a ontologia.

Conforme Guarino (1997), uma ontologia pode ser entendida como uma estrutura que consiste em um vocabulário específico, vinculado a um determinado domínio de realidade. Esse vocabulário, ao ser utilizado por indivíduos ou sistemas eletrônicos, permite a descrição e compreensão desse domínio. Além disso, essa estrutura explicita os fatos aceitos e relacionados ao significado dos termos do vocabulário, os quais são expressos em uma primeira ordem. Assim, espera-se que a ontologia represente formalmente os conceitos e as relações entre eles, com base em um consenso prévio sobre o significado desses termos entre os envolvidos.

Uma ontologia visa oferecer uma terminologia que padroniza os conceitos e as definições dentro de um domínio, e pode ser utilizado para diferentes aplicações, auxiliando equipes de desenvolvimento, uma vez que promove o consenso entre

especialistas (Guizzardi, 2000, p. 51). Ao mitigar contradições e inconsistências, uma ontologia é um guia para elucidar o conhecimento proveniente de fontes diversas, facilitando a interoperabilidade entre sistemas e melhorando a capacidade de reuso dos modelos. O desenvolvimento de uma ontologia para o ecossistema DeFi é motivada por várias razões que envolvem, por exemplo, padronização, compreensão e clareza de conceitos. Isso é benéfico para reduzir ambiguidades e inconsistências, facilitando a comunicação clara perante os usuários e objetiva estabelecer uma conceituação comum e coerente a fim de facilitar a gestão do conhecimento (Vasanthapriyan *et al.*, 2017). A padronização também promove a interoperabilidade, permitindo que diversas plataformas e protocolos se integrem mais facilmente.

Almeida e Bax (2003) destacam as ontologias como um recurso significativo para a organização e recuperação do conhecimento. Embora existam várias definições formais de ontologia, os autores optam por adotar a definição de Borst (1997) em seu trabalho, devido à sua simplicidade e abrangência. Eles enfatizam que a função da ontologia vai além de simplesmente agrupar termos relacionados a um domínio específico; ela também deve estabelecer normas que regulem a combinação desses termos, criando, assim, uma estrutura baseada na análise e compreensão compartilhada por especialistas. Isso permite que os usuários formulem consultas relacionadas aos conceitos utilizados na ontologia de maneira mais precisa.

No campo da Ciência da Informação, Jacob (2003) conceitua ontologia como a representação formal e compartilhada de uma compreensão semântica sobre um domínio específico, construída por meio de uma linguagem lógica que explicita, de modo sistemático, os conceitos relevantes, suas propriedades e as relações que os vinculam. Tal formalização visa conferir suporte ao processamento automatizado, possibilitando que sistemas computacionais interpretem e manipulem o conhecimento modelado na ontologia. Conforme assinalado por Ding e Foo (2022), as ontologias promovem a coerência e a integração das informações disseminadas na Web, estabelecendo um vocabulário comum que facilita a interpretação dos dados tanto por agentes humanos quanto por sistemas computacionais.

Em relação aos componentes fundamentais de uma ontologia, Gruber (1995) delinea quatro elementos constitutivos. O primeiro elemento consiste nas classes,

que representam abstrações dos conceitos pertinentes ao domínio modelado, estruturadas em uma hierarquia taxonômica que viabiliza a organização do conhecimento. Classes podem herdar propriedades e comportamentos de outras classes situadas em níveis superiores da hierarquia, denominadas classes-pai, configurando um mecanismo análogo à herança em paradigmas de programação orientada a objetos, amplamente adotados na Computação e nos Sistemas de Informação. O segundo elemento compreende as relações, que estabelecem vínculos semânticos entre as classes, especificando a natureza das interações existentes entre os conceitos modelados. Os axiomas constituem o terceiro componente, consistindo em enunciados lógicos que impõem restrições e condições sobre a interpretação e o comportamento dos elementos da ontologia, assegurando a coerência e a validade dos dados. Por fim, as instâncias representam exemplares concretos das classes, correspondendo a entidades específicas do domínio em questão.

Conforme Marcondes e Campos (2008), no campo da Ciência da Informação as ontologias exercem papel preponderante da área de representação da informação, visto que são capazes de representar não só o objeto documento, mas todo um domínio.

As ontologias têm sido formalizadas no âmbito das Ontologias Aplicadas, especialmente sob a perspectiva das ontologias de fundamentação. Um exemplo notável é a UFO (*Unified Foundational Ontology*), que desempenha um papel fundamental na construção de ontologias de domínio. Essas ontologias têm sido aplicadas com êxito em atividades como avaliação, reestruturação e integração de modelos conceituais (Guizzardi; Falbo; Guizzardi, 2008). Nesse cenário, destaca-se a OntoUML, uma linguagem de modelagem conceitual baseada na UFO, ontologicamente fundamentada, que tem sido utilizada para a elaboração de modelos de simulação conceitual (Guizzardi; Wagner, 2012). Dessa forma, as ontologias vêm sendo adotadas como um método sistemático para representar aspectos da realidade (Almeida, 2014).

Dentro dos estudos de DeFi, três ontologias se destacam e serão utilizadas nesse estudo a fim de ampliar o embasamento dos termos selecionados para alcançar o objetivo do trabalho.

### 2.2.1. **Blockchain Ontology with Dynamic Extensibility**

A primeira ontologia, denominada BLONDIE (*Blockchain ONtology with Dynamic Extensibility*) é detalhada por Ugarte-Rojas e Chullo-Llave (2020) como uma ontologia expressa em OWL (*Web Ontology Language*) que permite uma dinâmica considerável em seu manuseio, viabilizando a integração de dados estruturais nativos e informações relacionadas. A BLONDIE é uma ontologia alimentada por fontes de três projetos relevantes de *blockchain*: *Bitcoin*, *Ethereum* e *HyperLedger Fabric*. Como parte do embasamento para sua pesquisa, Ugarte-Rojas e Chullo-Llave (2020) apresentam os conceitos e definições de *blockchain*, incluindo explicações sobre as três *blockchains* mencionadas, bem como sobre RDF (*Resource Description Framework*), OWL e SPARQL (*SPARQL Protocol and Resource Description Framework Query Language*). O estudo mostra que o desenvolvimento da BLONDIE utiliza a metodologia iterativa de Noy e McGuinness (2001) onde as etapas são resumidas em 5 processos: (1) a definição do domínio e do escopo da ontologia, (2) a definição e a hierarquia das classes, (3) das propriedades das classes, (4) das facetas dos slots e por fim, (5) a criação de instâncias. Tendo em vista que essa ontologia específica é composta de três tecnologias de *blockchains* previamente definidas, os autores concluem que o escopo será conseqüentemente a descrição destas estruturas de dados e informações relacionadas.

Após a definição das questões de competência que a ontologia busca responder, os autores estruturam a determinação das classes, propriedades e facetas que a compõem. Para isso foram elaboradas tabelas para organizar a estrutura de cada tecnologia, tanto para *Bitcoin*, quanto para *Ethereum* e para o *HyperLedger Fabric*. A Figura 5 abaixo, extraída de Ugarte-Rojas e Chullo-Llave (2020), apresenta o diagrama entidade-relacionamento da BLONDIE, com a hierarquia de classes e subclasses que a compõem.



blocos. A EthOn “descreve conceitos de contrato *blockchain* usando o esquema W3C RDF e a OWL” (Baqa *et al.*, 2019, p. 2, tradução nossa).

De acordo com Ferreira (2022), assim como demais ontologias, a EthOn possui classes, objetos, propriedades de tipo de dados e anotações, suportando múltiplas heranças. Porém, a EthOn está em constante evolução, e seu potencial ainda não foi explorado. Novas restrições, classes e subclasses podem contribuir para novas propriedades e links.

Tendo em vista que a EthOn é uma ontologia que representa exclusivamente a *blockchain Ethereum*, Cano-Benito, Cimmino e García-Castro (2021) concluem que esta ontologia modela apenas a Interface Binária do Aplicativo (ABI). O ABI é a forma padrão de interagir com contratos no Ecosistema *Ethereum*, tanto de fora da *blockchain* quanto para interação contrato a contrato; em outras palavras, a ABI representa como as funções são chamadas em um contrato e como os dados são recuperados. No entanto, a ABI tem algumas deficiências, como a ausência de alguns elementos ou a não cobertura do código da função. A ontologia EthOn contém a função tipo, o tipo de entrada (parâmetros de entrada da função) e o tipo de saída (tipo de retorno da função), sem representar alguns aspectos de um contrato inteligente, como atributos ou herança nem entrar em detalhes sobre os aspectos mencionados anteriormente.

A *Ethereum Ontology* encontra-se disponível em seu sítio eletrônico oficial para consulta dos objetos utilizados (classes, propriedades, etc.), além da possibilidade de download do arquivo OWL para visualização em qualquer software de manipulação de ontologias. Para a visualização e manipulação da ontologia foi utilizado o software Protégé. Conforme explicado por Rautenberg *et al.* (2008), o editor de ontologias Protégé é uma plataforma livre de código aberto, que provê um conjunto de funcionalidades para construir modelos de domínio e aplicações baseadas em conhecimento com ontologias. Para a metodologia proposta, o Protégé implementa vários recursos úteis para as atividades de implementação e avaliação de ontologias.

### 2.2.3. *Ontology Network in Finance and Economics*

A OntoFINE (*Ontology Network in Finance and Economics*) é uma rede de ontologias proposta por Amaral (2022) com o objetivo de representar de maneira precisa e fundamentada os conceitos essenciais que permeiam os domínios da economia e das finanças, tais como dinheiro, valor, risco, confiança e trocas econômicas. A proposta parte da constatação de que os sistemas financeiros modernos, especialmente os que envolvem tecnologias emergentes como *blockchain* e DeFi, carecem de modelos conceituais bem estruturados que permitam interoperabilidade semântica entre diferentes aplicações, linguagens e agentes envolvidos nesses ecossistemas.

O diferencial da OntoFINE está na sua abordagem modular e hierárquica, dividida em três camadas: fundacional, core e de domínio. A camada fundacional é baseada na Unified Foundational Ontology (UFO), oferecendo uma base ontológica rigorosa e reutilizável. A camada core trata de aspectos centrais como confiança (ROT), trocas econômicas (COEX), valor e risco (COVER), e representações de dinheiro e moedas eletrônicas (ROME). Já a camada de domínio refina esses conceitos para contextos específicos, como a modelagem de requisitos de confiabilidade em sistemas bancários. Essa estrutura permite reutilizar, expandir e alinhar conceitos com outras iniciativas, como a *Financial Industry Business Ontology* (FIBO). Amaral (2022) apresenta a FIBO como um conjunto de modelos formais que tem como objetivo definir significados compartilhados e não ambíguos para conceitos da indústria financeira.

No contexto das DeFi, a OntoFINE se destaca por possibilitar uma representação conceitual de entidades e relações que são, por natureza, distribuídas e dinâmicas. Além disso, ao representar trocas econômicas e instrumentos financeiros digitais com base em uma ontologia fundacional, a OntoFINE garante que conceitos como propriedade, valor e risco sejam formalizados de maneira consistente e interoperável.

Outro aspecto importante da proposta é a metodologia de construção adotada, que combina a abordagem SABiO para desenvolvimento de ontologias individuais com uma adaptação do método NeOn para a construção da rede como um todo. Isso garante que cada ontologia da OntoFINE seja formalmente sólida e, ao mesmo

tempo, integrada de forma coerente com as demais. Além disso, o trabalho propõe cinco cenários típicos de reúso e integração ontológica, o que facilita a adoção da rede em diferentes contextos, incluindo sistemas bancários tradicionais, fintechs e plataformas DeFi.

A importância da OntoFINE para o campo reside na sua capacidade de oferecer um vocabulário comum, preciso e extensível para modelar sistemas complexos que operam sem intermediários centrais. Isso viabiliza a análise ontológica de novos modelos de negócio e o desenvolvimento de ferramentas que demandam interoperabilidade semântica, como oráculos, *marketplaces* descentralizados e serviços de identidade digital.

### 3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada neste trabalho é de natureza aplicada, uma vez que busca gerar conhecimento voltado à resolução de um problema concreto. Quanto aos seus objetivos, caracteriza-se como uma pesquisa exploratória e descritiva, pois visa tanto compreender e estruturar conceitos ainda pouco sistematizados quanto propor uma representação formal desses conceitos por meio de uma ontologia. Em relação aos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa documental e de desenvolvimento ontológico, sustentada na análise de literatura e na construção de um artefato computacional. Por fim, quanto à abordagem metodológica, adota-se o paradigma qualitativo, o qual é mais apropriado para investigar fenômenos complexos e multifacetados, como os que emergem no ecossistema DeFi. Conforme Gil (2008), a pesquisa qualitativa permite a exploração aprofundada de conceitos, sendo adequada à construção de ontologias por envolver interpretação e análise de informações, identificação de padrões e estabelecimento de relações. Creswell (2014) também destaca que a abordagem qualitativa é apropriada quando se busca desenvolver teorias ou modelos a partir da interação entre dados, literatura e fenômenos observados — como é o caso da presente investigação.

O foco da pesquisa é o desenvolvimento de uma ontologia para representar o conhecimento do ecossistema DeFi, baseada na definição dos principais conceitos do domínio DeFi e tomando como suporte outras ontologias candidatas a reuso. Flick (2014) argumenta que a pesquisa qualitativa é eficaz para a elaboração de novos modelos ou estruturas conceituais, pois permite integrar diferentes perspectivas teóricas e práticas. Alinhado aos objetivos da pesquisa, definiu-se o escopo da ontologia considerando representações de ações recorrentes no contexto de aplicações DeFi, entre elas, os casos de uso. Os casos de uso são instrumentos fundamentais para orientar o desenvolvimento de soluções que atendam a necessidades específicas e mensuráveis. Eles descrevem cenários representativos em que um sistema ou modelo, como uma ontologia, é aplicado para resolver problemas ou atender a requisitos práticos.

A ontologia resultante será avaliada quanto à sua capacidade de atender às necessidades de homogeneização conceitual do campo, contribuindo para a padronização conceitual e a interoperabilidade das plataformas DeFi, conforme os objetivos do estudo.

As etapas de desenvolvimento de uma ontologia podem ser sistematizadas em um método, desde sua ideia inicial até a implementação, resultando na chamada Engenharia de Ontologias. Existem várias metodologias de construção (Almeida, 2020, p. 328), como o 101 Method, de Noy e McGuinness, de 2001, a NeOn em 2008 e a SABiO (*Systematic Approach for Building Ontologies*, ou Abordagem Sistemática para Construção de Ontologias), proposta em 1997, atualizada por Falbo (2014). Este método último se baseia em etapas básicas, sendo: Aquisição de Conhecimento, Documentação, Gerência de Configuração, Avaliação e Reutilização. Optou-se então pela adoção da SABiO neste trabalho devido à sua estrutura definida em fases, o que facilita a compreensão, organiza o processo de modelagem e favorece a rastreabilidade das decisões tomadas ao longo do desenvolvimento ontológico.

A metodologia SABiO consiste em um processo principal denominado Desenvolvimento, que é dividido em fases específicas, além de incluir diversos processos de Apoio. Tal metodologia visa auxiliar na construção de ontologias de domínio, seja como uma ontologia de referência, considerada um tipo específico de modelo conceitual, ou como uma ontologia operacional, que permite a leitura e interpretação da ontologia por máquinas. Conforme Falbo (2014), a metodologia do processo de desenvolvimento divide-se em etapas claras, como a identificação dos requisitos do domínio, a formalização dos conceitos e a validação da ontologia por meio de revisões e testes.

Cada etapa é orientada por diretrizes que auxiliam na escolha dos elementos que compõem a ontologia, garantindo que a estrutura final seja tanto compreensível quanto reutilizável em diferentes contextos. Além disso, SABiO enfatiza a importância de documentar o processo de construção, proporcionando transparência e facilitando a manutenção e a evolução da ontologia ao longo do tempo. Ao seguir essa metodologia, é possível criar ontologias que não apenas atendam às necessidades de seus usuários, mas que também promovam a interoperabilidade entre diferentes sistemas e aplicações. Em resumo, a metodologia SABiO é baseada em etapas que incluem:

- Especificação: Definir o propósito e os requisitos da ontologia.
- Levantamento de Competência: Coletar questões de competência que a ontologia deve responder.

- Modelagem: Construir o modelo conceitual inicial e detalhar conceitos, e relacionamentos.
- Implementação: Codificar a ontologia em linguagens como OWL utilizando ferramentas como Protégé.
- Avaliação: Validar a ontologia respondendo às questões de competência e verificando consistência

Durante a modelagem e implementação da ontologia, visando garantir a aderência a princípios ontológicos sólidos e favorecer a interoperabilidade semântica, a ontologia foi construída com base na *Unified Foundational Ontology* (UFO), importada em sua versão OWL. Para isso, foi utilizada a versão OWL da UFO disponibilizada pelo projeto gUFO<sup>2</sup>, mantido por pesquisadores do *Ontology & Conceptual Modeling Research Group* (NEMO) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Dessa forma, os conceitos elaborados na etapa de modelagem foram instanciados e organizados de acordo com os estereótipos ontológicos definidos pela UFO, como `gUFO:«kind»`, `gUFO:«role»`, `gUFO:«phase»`, `gUFO:«relator»` e `gUFO:«event»`.

Uma vez realizada a especificação, levantamento, modelagem e implementação da ontologia, a etapa final é a avaliação prévia da eficácia da ontologia. De acordo com Vrandecic (2010) é importante realizar a etapa de avaliar ontologias, dada a relevância dessas no contexto da web semântica, pois erros e omissões podem levar a aplicações que não aproveitam todo o potencial das ontologias.

Avaliar ontologias é fundamental quando se precisa garantir a consistência, a precisão e a utilidade dos modelos de conhecimento que elas representam. Uma ontologia mal estruturada ou mal definida pode gerar ambiguidade, comprometendo a interoperabilidade entre sistemas e dificultando a integração de dados provenientes de fontes heterogêneas. Além disso, a avaliação permite identificar lacunas, redundâncias e possíveis inconsistências na representação dos conceitos e suas relações, garantindo que a ontologia atenda aos seus objetivos de forma eficiente e eficaz. Sem uma avaliação rigorosa, há o risco de disseminar informações incorretas ou incompletas, o que pode prejudicar a tomada de decisões

---

<sup>2</sup>O arquivo OWL está publicamente acessível no repositório oficial do projeto no GitHub. Disponível em: <https://nemo-ufes.github.io/gufo/>. Acesso em 03 jul. 2025.

baseada em dados e limitar o potencial das aplicações que dependem dessa estrutura. Portanto, o processo de avaliação é um componente essencial no ciclo de vida das ontologias, assegurando sua qualidade e a confiança nas soluções que dela se valem.

Para avaliar a ontologia desenvolvida foram realizadas tanto a análise em relação às questões de competência (a ontologia é capaz de respondê-las?), quanto a descrição e implementação de um estudo de caso.

## 4. DESENVOLVIMENTO

Para construção da ontologia é necessária a definição formal, com base na literatura existente, dos elementos e componentes essenciais que estão presentes em um ecossistema DeFi. Para isso, este estudo define que o ecossistema DeFi é composto por três elementos: (i) um conjunto de conceitos e relações inerentes à área; (ii) uma arquitetura; (iii) modelos de negócio. Esses elementos serão o referencial de base para o levantamento de conceitos a serem incorporados na ontologia a ser desenvolvida, denominada "DeFi-Ontology".

Figura 6: Infográfico da construção da DeFi-Ontology



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme Falbo (2014), inicialmente, deve-se identificar o propósito da ontologia e seus usos pretendidos. Uma vez definido o propósito da ontologia e os usos pretendidos, devemos elucidar seus requisitos. No caso da DeFi-Ontology, ela possui o propósito de preencher a lacuna da heterogeneidade conceitual de uma área emergente motivada por uma busca de organização do conhecimento envolvendo compreensão, padronização e clareza dos conceitos acerca do ecossistema para apoiar o processo de construção de DApps.

### 4.1. Identificação da heterogeneidade conceitual

A heterogeneidade conceitual nas DeFi refere-se à diversidade de definições e interpretações dos termos e conceitos utilizados na área, resultante da natureza

dinâmica e interdisciplinar do ecossistema. Esse fenômeno, comum às diversas áreas da ciência, ocorre também em DeFi de forma agravada pela integração de diferentes disciplinas, como a Economia, a Ciência da Informação e a Computação, além da Criptografia, cada uma delas fazendo uso de abordagens e conceitos específicos.

A heterogeneidade conceitual ocorre mesmo entre diferentes ontologias que formalizam o campo. Por exemplo, a *Ethereum Ontology* e a *Blockchain Ontology with Dynamic Extensibility* propõem representações conceituais para elementos centrais do ecossistema *blockchain*, como contratos inteligentes e transações. No entanto, diferem quanto ao escopo, à terminologia adotada e à estrutura semântica. A EthOn é voltada especificamente à modelagem do ecossistema *Ethereum*, com foco na representação detalhada de contratos inteligentes e de sua interface binária (Besançon *et al.*, 2022), enquanto a BLONDiE adota uma abordagem mais genérica e extensível, buscando representar dados estruturais de diferentes *blockchains* por meio de um modelo modular e reutilizável. Essas diferenças refletem a diversidade de objetivos e granularidade das ontologias, o que pode gerar variações terminológicas e estruturais mesmo quando tratam de conceitos semelhantes.

Apesar das divergências em suas abordagens, ambas as ontologias compartilham certos termos e definições fundamentais. A presença desses termos em comum, como "contratos inteligentes" e "transações", demonstra que, apesar da heterogeneidade conceitual, há uma interseção semântica que permite um entendimento básico e interoperabilidade entre as diferentes representações. No entanto, a existência de múltiplas ontologias e frameworks semânticos reflete a complexidade e a rápida evolução do campo aumentando a necessidade de estudos contínuos para alinhar as diferentes visões sobre os conceitos fundamentais das DeFi.

A heterogeneidade conceitual nesse contexto também se deve ao fato de ser uma área ampla e emergente, o que faz com que certos conceitos possuam definições dependentes do contexto em que são aplicados. Por exemplo, o termo "*staking*" pode ser entendido como um processo de validação de transações e manutenção da segurança em redes baseadas em Proof of Stake (PoS), como o *Ethereum 2.0*, enquanto em outros contextos de DeFi, como plataformas de liquidez, "*staking*" pode se referir à prática de bloquear tokens em pools de liquidez para obter

recompensas ou participar de governanças descentralizadas. Outro exemplo é a noção de "oráculos", que em algumas definições são simplesmente fontes externas de dados para contratos inteligentes, mas, em aplicações mais complexas, podem envolver mecanismos avançados de verificação de informações para assegurar a integridade dos dados inseridos. Essas diferenças conceituais refletem as múltiplas abordagens e objetivos dentro do ecossistema, evidenciando como a interpretação de certos termos depende diretamente do contexto específico no qual eles são aplicados.

#### **4.2. Escopo da ontologia**

A delimitação do escopo da ontologia está fundamentada nos casos de uso descritos na Seção 4.3, os quais foram inspirados em concepção com auxílio de inteligência artificial generativa. O objetivo foi de simular cenários realistas e variados de aplicações DeFi. Esses casos de uso incluem a descrição dos serviços mais proeminentes na atualidade, tais como: simulações e tomadas de empréstimos, decisões financeiras com base em oráculos, operações de câmbio, dentre outros. Tais cenários foram concebidos para representar, conforme o estado atual de desenvolvimento, a diversidade de operações e agentes presentes no ecossistema DeFi, servindo como guia para a seleção dos conceitos a serem modelados.

Dessa forma, a ontologia proposta não busca cobrir exaustivamente todo o universo DeFi, mas sim oferecer uma representação abrangente e coesa dos elementos centrais que emergem a partir da descrição dos casos de uso mais relevantes atualmente em DeFi.

#### **4.3. Elaboração de Casos de Usos**

A presente seção apresenta uma série de casos de uso elaborados entre os dias 8 a 10 de abril de 2025 com o auxílio de inteligência artificial generativa, especificamente por meio da ferramenta ChatGPT<sup>3</sup>, em sua versão 4o, desenvolvido pela OpenAI. Os casos de uso têm como objetivo explorar diferentes possibilidades

---

<sup>3</sup> Segundo a desenvolvedora, o ChatGPT é um modelo relacionado ao InstructGPT, treinado especificamente para seguir instruções fornecidas por meio de comandos e gerar respostas detalhadas. Trata-se de um sistema de inteligência artificial com interface conversacional, que atua como assistente virtual, capaz de responder a uma ampla variedade de temas a partir de perguntas ou instruções textuais (prompts) fornecidas pelo usuário. Fonte: <https://openai.com/index/chatgpt/>

de aplicação no domínio, permitindo identificar cenários relevantes que poderiam não surgir apenas por meio da revisão documental tradicional. O uso da IA generativa como ferramenta de apoio à elaboração dos casos de uso busca identificar padrões, relações conceituais e lacunas potenciais que contribuam para enriquecer a modelagem ontológica.

Os casos de uso escolhidos representam as aplicações em DeFi mais populares presentes na literatura, tendo esse conjunto composto do escopo delineado para a ontologia. Os termos e suas relações, usados no caso de uso abaixo, encontram-se ilustrados pela figura que segue a tabela, Figuras 7, 8 e 9, respectivamente.

#### 4.3.1. Caso de Uso: Interação com Aave

##### Caso de Uso: Interação com Aave

##### Cenário:

O agente **Bob** quer obter USDC<sup>4</sup> emprestado. Para isso:

1. Deposita **2 ETH como colateral** na Aave.
2. Toma **1000 USDC** como empréstimo.

##### Estado Pós-Operação

Entidade	Tipo	Instância	Atributos / Qualidades	Relações Ontológicas
<b>Agente Bob</b>	Agent	bob_001	wallet_id: 0xB0B..., KYC: false	controla → wallet_bob
<b>Carteira de Bob</b>	FunctionalComplex	wallet_bob	saldo: {ETH: 0, USDC: 1000}	pertenceA → bob_001
<b>Token ETH</b>	Kind + Relator	eth_token	symbol: ETH, rede: Ethereum	—

<sup>4</sup> USDC é uma *stablecoin* que acompanha o valor do dólar americano (Campos *et al.*, 2025). No exemplo proposto, nos preços atuais, o agente precisou deixar como colateral mais do que o dobro do valor do que ele está tomando emprestado.

<b>Token USDC</b>	Kind + Relator	usdc_token	symbol: USDC, tipo: stablecoin	—
<b>Contrato Aave</b>	FunctionalComplex	aave_contract	versão: 3.0	executa → empréstimo_aave_bob
<b>Evento: Empréstimo Aave</b>	Event	empréstimo_aave_bob	timestamp: 2025-04-10T11:00Z, valor: 1000 USDC	participa → bob_001, usaColateral → 2 ETH
<b>Papel de Tomador de Empréstimo</b>	Role	tomador_001	contexto: aave_contract	atuaComo → bob_001

### Relações Ontológicas

- bob\_001 atuaComo tomador\_001
- bob\_001 participa empréstimo\_aave\_bob
- empréstimo\_aave\_bob usaColateral eth\_token
- empréstimo\_aave\_bob gera usdc\_token
- aave\_contract executa empréstimo\_aave\_bob
- wallet\_bob pertenceA bob\_001

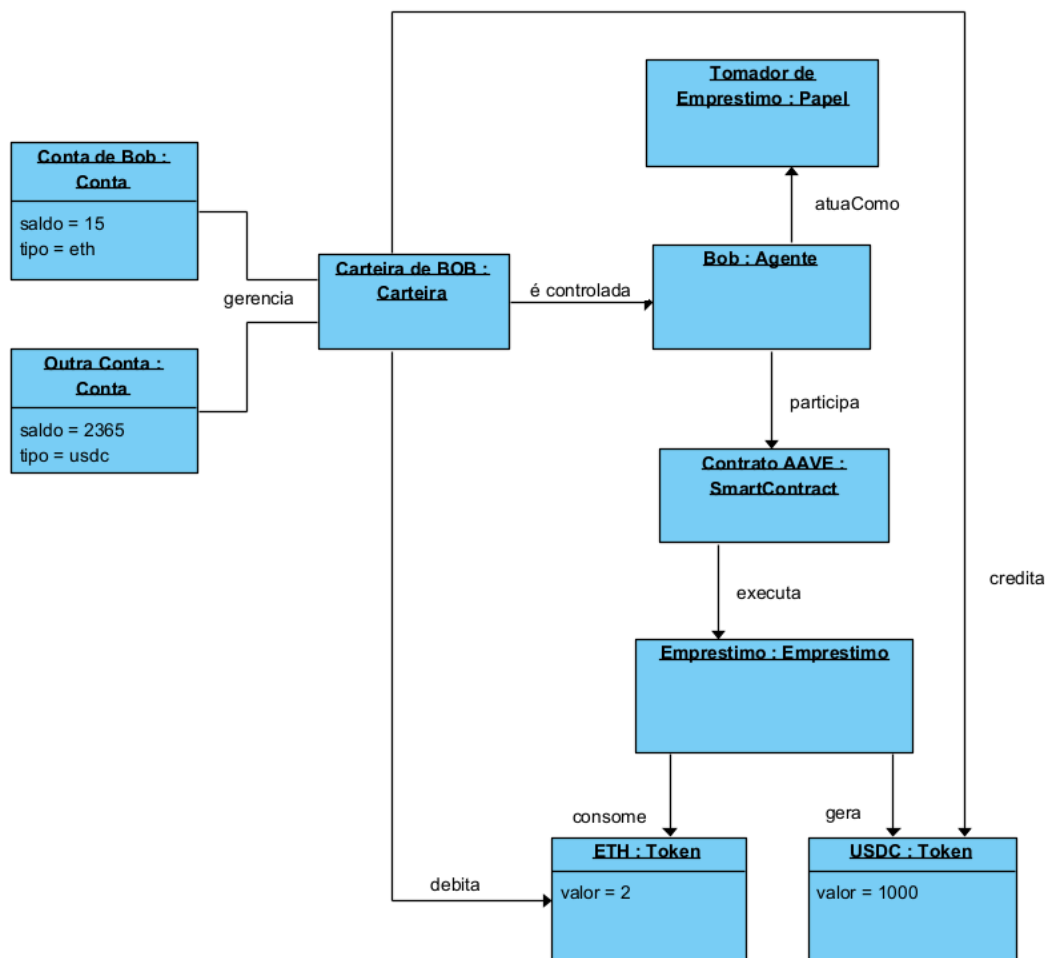
### Resumo

Este exemplo simples mostra como:

- Um agente assume um **papel** (Tomador) em um contexto (Aave).
- O empréstimo é modelado como um **evento**.
- Tokens são representados como *Relators* (**relatores**).
- Relações entre **wallet**, **contrato** e **evento** são explícitas e temporalmente rastreáveis.

Com o propósito de ilustrar o caso descrito acima, a Figura 7 apresentada abaixo, posiciona os objetos (instâncias da ontologia) em um diagrama, permitindo uma análise visual do cenário apresentado.

Figura 7: Ilustração do caso de uso “Interação com Aave” por um diagrama de objetos



Fonte: Elaborado pelo autor através do software Visual Paradigm<sup>5</sup>

No cenário apresentado, o usuário "Bob" atua como o agente que realizará uma operação em DeFi. Seu objetivo é obter um empréstimo, fornecendo ETH de sua carteira como garantia. Essa transação será executada por meio do contrato inteligente Aave. Dada a origem do caso de uso por inteligência artificial generativa, é plausível que a escolha da Aave se deva à sua ampla popularidade. Conforme Benbachir, Amzile e Beraich (2025) a Aave é um dos protocolos de empréstimo DeFi mais proeminentes, com um Total Value Locked (TVL) de mais de US\$ 4 bilhões em dezembro de 2024. O grande *pool* de liquidez da Aave a torna uma organização de relevância primária nos mercados de empréstimos DeFi. A AAVE é também um protocolo DeFi de código aberto, majoritariamente construído sobre a *blockchain*

<sup>5</sup> Ferramenta de modelagem visual de software e projetos, que oferece suporte para diversas linguagens e diagramas. Disponível em: <https://www.visual-paradigm.com/>. Acesso em 08 jul. 2025

*Ethereum*, que possibilita aos usuários tanto emprestar criptoativos e receber juros quanto tomar empréstimos utilizando criptomonedas como colateral.

O agente “Bob” controla uma carteira digital que gerencia duas contas com diferentes tipos de ativos. Através da execução do contrato inteligente AAVE, é instanciado um objeto do tipo Empréstimo, que consome 2 unidades de ETH (debitadas da carteira) como colateral e, em contrapartida, gera 1000 unidades de USDC (creditadas à mesma carteira). O fluxo evidencia as relações entre os componentes de contas, carteira, tokens e contratos inteligentes, enfatizando os mecanismos de consumo e geração de ativos digitais no contexto de empréstimos descentralizados.

As entidades representadas no diagrama são essenciais para a representação de operações básicas no contexto de DeFi e, por essa razão, devem estar contempladas na ontologia. Elementos como Agente, Carteira, Conta, Contrato Inteligente, Empréstimo e Token são fundamentais para descrever formalmente as interações e os fluxos de ativos digitais.

Embora o caso de uso gerado automaticamente modele os tokens como *relators*, essa abordagem não será adotada na ontologia proposta. Na DeFi-Ontology, os tokens serão representados exclusivamente como `gUFO:<<kind>>`, com base em sua identidade própria e persistência no ecossistema. A justificativa completa para essa decisão encontra-se detalhada na Seção 4.4.3, dedicada à modelagem ontológica.

A seguir apresenta-se mais um serviço proeminente em DeFi, que é a troca de ativos (análogo ao serviço executado por uma casa de câmbio tradicional).

#### 4.3.2. **Caso de Uso: Troca de Tokens com Uniswap**

##### **Caso de Uso: Troca de Tokens com Uniswap**

##### **Cenário:**

A agente **Alice** deseja trocar **1 ETH por USDC** utilizando o protocolo **Uniswap v3**.

---

##### **Estado Ontológico Pós-Operação**

Entidade	Tipo	Instância	Atributos / Qualidades	Relações Ontológicas
<b>Agente Alice</b>	Agent	alice_001	wallet_id: 0xA11C3..., KYC: false	controla → wallet_alice
<b>Carteira de Alice</b>	FunctionalComplex	wallet_alice	saldo: {ETH: 0, USDC: 1800}	pertenceA → alice_001
<b>Token ETH</b>	Kind + Relator	eth_token	symbol: ETH, <i>blockchain</i> : Ethereum	—
<b>Token USDC</b>	Kind + Relator	usdc_token	symbol: USDC, tipo: stablecoin	—
<b>Contrato Uniswap v3</b>	FunctionalComplex	uniswap_contract	versão: v3.0, pool: ETH/USDC	executa → swap_alice
<b>Evento de Swap</b>	Event	swap_alice	timestamp: 2025-04-10T12:00Z, valorIn: 1 ETH, valorOut: 1800 USDC	participa → alice_001
<b>Papel de Usuário DEX</b>	Role	usuária_dex_001	contexto: uniswap_contract	atuaComo → alice_001

### Relações Ontológicas

- alice\_001 atuaComo usuária\_dex\_001
- alice\_001 participa swap\_alice
- swap\_alice envia 1 ETH
- swap\_alice recebe 1800 USDC
- uniswap\_contract executa swap\_alice
- wallet\_alice pertenceA alice\_001

### Resumo

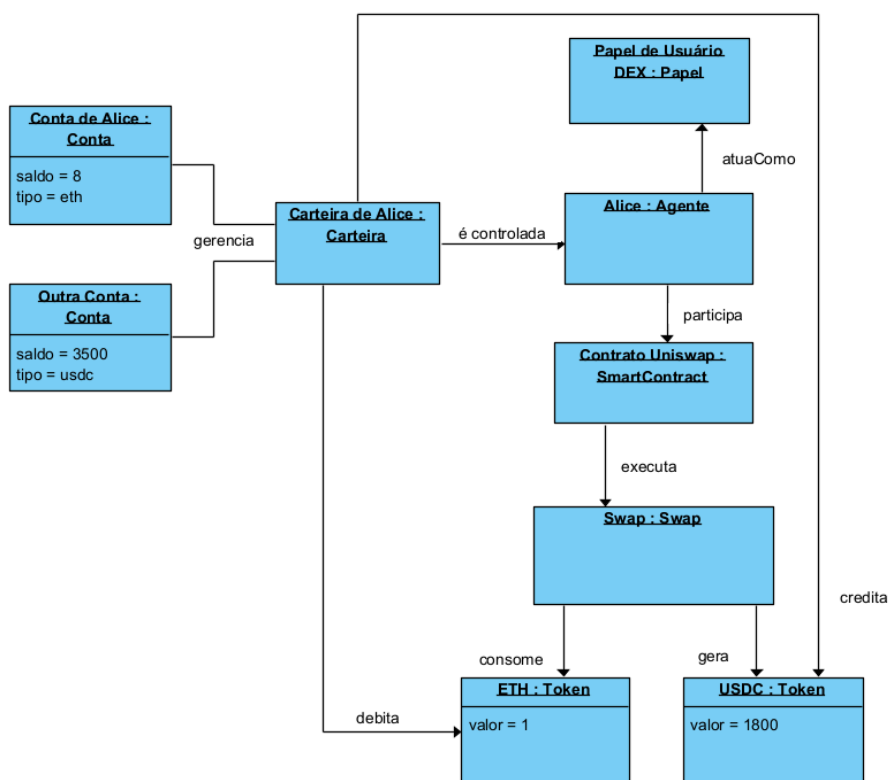
Este caso simples mostra:

- Um agente **assumindo o papel** de usuário em um **contrato descentralizado**.
- Uma **operação de swap** representada como um **evento** com participação explícita do agente.
- Tokens modelados como **relators (kinds + qualities)**.

- **Carteiras e contratos** como FunctionalComplex com atributos.

Com o intuito de exemplificar o caso gerado por inteligência artificial, a Figura 8 a seguir organiza as entidades de forma a possibilitar uma análise visual do cenário, facilitando a identificação de suas respectivas posições no exemplo apresentado.

Figura 8: Ilustração do caso de uso “Troca de Tokens com Uniswap”



Fonte: Elaborado pelo autor através do software Visual Paradigm

Embora a Figura 7 e a Figura 8 possuam semelhanças significativas, os dois casos de uso possuem uma diferença conceitual na entidade executada pelo contrato inteligente. No caso descrito na Subseção 4.3.1, o objetivo era tomar um empréstimo oferecendo uma moeda como garantia, e no caso de Alice, o objetivo era a troca de moedas. As regras de atuação em cada cenário são controladas pelo próprio contrato inteligente, que é programado para tal, envolvendo as entidades que se adequam a cada uma das demandas apresentadas.

O diagrama ilustra um caso de uso envolvendo a execução de uma operação de troca (*swap*) de ativos digitais por meio do contrato inteligente da plataforma Uniswap<sup>6</sup>. A agente “Alice” controla uma carteira digital composta por duas contas. Essa carteira é responsável por intermediar a participação do agente na execução do contrato inteligente. Durante a operação, é instanciada uma entidade do tipo Swap, que consome 1 unidade de ETH (debitada da carteira) e, em contrapartida, gera 1800 unidades de USDC (creditadas à mesma carteira). Este fluxo descreve as interações entre Agente, Carteira, Contas, Tokens e Contrato Inteligente no contexto de uma operação de troca de criptoativos.

#### 4.3.3. Caso de Uso: Seguro Agrícola com Oráculo Climático

##### Caso de Uso: Seguro Agrícola com Oráculo Climático

##### Cenário:

O agente João deseja proteger sua plantação de milho contra uma eventual alteração climática, tal como uma seca severa. Ele adquire um token de seguro usando o DApp AgroSeguro, que executa um contrato inteligente conectado a um oráculo climático.

##### Estado Ontológico Pós-Operação

Entidade	Tipo	Instância	Atributos / Qualidades	Relações Ontológicas
Agente João	Agent	joao_001	wallet_id: 0xJ04O..., região: MG	controla → wallet_joao
Carteira de João	FunctionalComplex	wallet_joao	saldo: {DAI: 980}	pertenceA → joao_001
Token SeguroDAI	Kind + Relator	segurodai_token	symbol: SDAO, tipo: fungível, emissão: AgroSeguro	—

<sup>6</sup> Plataforma de troca descentralizada (DEX) construída na blockchain Ethereum. Disponível em: <https://app.uniswap.org/>. Acesso em 08 jul. 2025

Contrato de Seguro	FunctionalComplex	contrato_seguro_001	tipo: SmartContract, estado: ativo, duração: 30 dias	executa → evento_seguro_001
Protocolo AgroSeguro	FunctionalComplex	protocolo_agroseguro	categoria: SeguroDeClima	implementa → contrato_seguro_001
DApp AgroSeguro	FunctionalComplex	dapp_agroseguro	nome: AgroSeguro, serviço: SeguroAgrícola	gerencia → contrato_seguro_001
Evento de Seguro	Event	evento_seguro_001	timestamp: 2025-05-08T00:00Z, status: ativado	participa → joao_001
Papel de Segurado	Role	segurado_001	contexto: contrato_seguro_001	atuaComo → joao_001
Oráculo Climático	FunctionalComplex	oraculo_clima	fonteDados: API ClimaTempo, validação: 3 fontes independentes	usadoPor → contrato_seguro_001
<i>Blockchain Ethereum</i>	Kind	ethereum	tipo: pública, moedaNativa: ETH	implementa → contrato_seguro_001
Transação de Compra	Event	tx_compra_seguro	valor: 20 DAI, gas: 0.001 ETH, status: confirmado	envolve → wallet_joao, contrato_seguro_001

### Relações Ontológicas

- joao\_001 atuaComo segurado\_001
- joao\_001 participa evento\_seguro\_001
- evento\_seguro\_001 é executado por contrato\_seguro\_001
- contrato\_seguro\_001 é gerenciado por dapp\_agroseguro
- contrato\_seguro\_001 usa oraculo\_clima
- contrato\_seguro\_001 é implementado na *blockchain* ethereum
- wallet\_joao pertenceA joao\_001
- tx\_compra\_seguro envolve wallet\_joao e contrato\_seguro\_001
- protocolo\_agroseguro implementa contrato\_seguro\_001

- segurado\_001 adquire seguro dai\_token

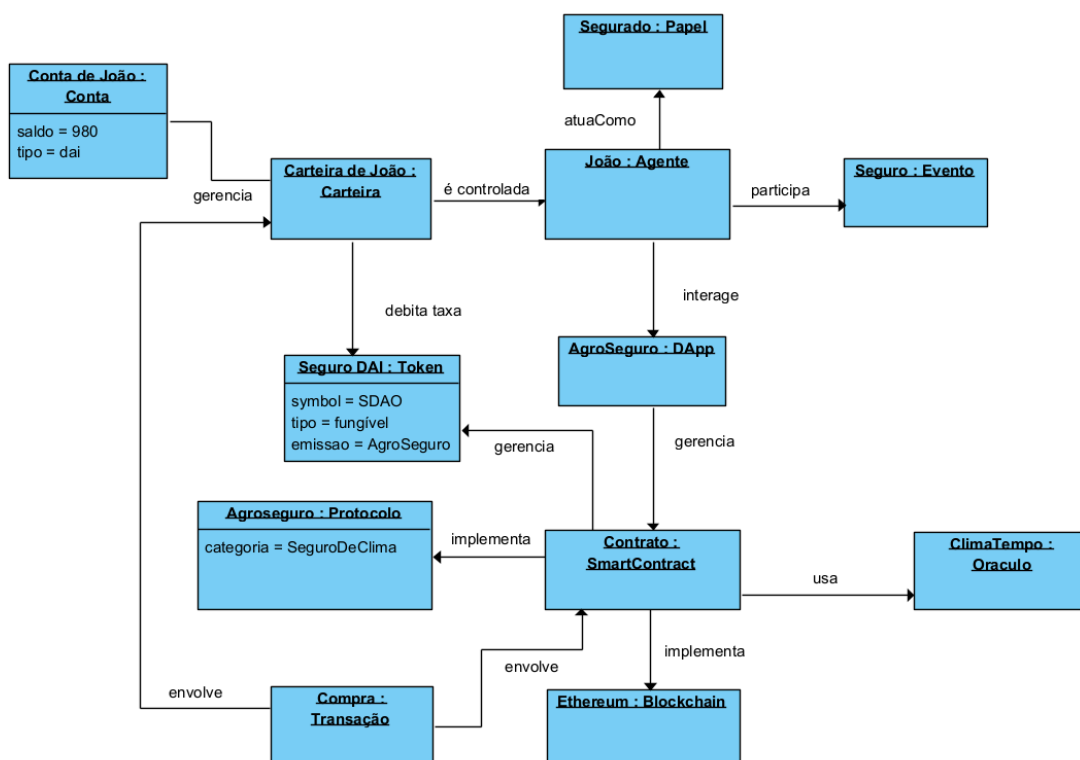
### ✓ Resumo

Este caso mostra:

- A aquisição de um seguro agrícola com tokens fungíveis emitidos por um DApp. Um contrato inteligente vinculado a um oráculo externo (climático), que valida dados do mundo real.
- A modelagem de agentes, papéis, contratos, tokens e eventos.
- O uso de um protocolo como base conceitual da lógica do contrato.

Para este terceiro cenário também foi gerada uma ilustração que pode ser visualizada na Figura 9, onde, diferentemente de exemplos anteriores pode-se observar um agente externo (oráculo) auxiliando na tomada de decisões dentro de um contrato inteligente.

Figura 9: Ilustração do caso de uso “Seguro Agrícola com Oráculo Climático”



Fonte: Elaborado pelo autor através do software Visual Paradigm

O diagrama ilustrado na Figura 9 representa um caso de uso envolvendo a contratação de um seguro por meio de uma aplicação descentralizada (DApp) instanciada como AgroSeguro, voltada ao domínio de seguros agrícolas baseados em dados climáticos.

O agente “João” controla uma carteira digital que gerencia uma conta. A partir da interação com o DApp, João contrata um seguro, o que acarreta a cobrança de uma taxa, debitada em *tokens* SDAO (um tipo fungível emitido pelo protocolo AgroSeguro). Esse protocolo implementa um contrato inteligente que, por sua vez, é responsável pela execução do seguro. O contrato consome dados provenientes de um oráculo externo, identificado como uma API do ClimaTempo<sup>7</sup>, que fornece informações climáticas utilizadas na lógica de decisão do seguro.

As entidades representadas neste modelo são necessárias para a descrição formal de operações envolvendo seguros descentralizados baseados em eventos externos, como dados climáticos. Diferente dos exemplos apresentados anteriormente, nesse caso de uso explora-se as entidades Oráculo e Protocolo, fundamentais para garantir a expressividade da ontologia em cenários que requerem integração entre ativos digitais, contratos programáveis e fontes externas de dados. A inclusão dessas entidades na ontologia permite modelar e automatizar com precisão fluxos de seguros paramétricos no ecossistema DeFi.

#### **4.4. Construção da ontologia**

Nesta seção, será apresentada a construção da ontologia, orientada pelas etapas definidas na metodologia SABiO, que estrutura o desenvolvimento ontológico em fases sistematizadas.

##### **4.4.1. Especificação**

A ontologia proposta visa representar semanticamente e de forma hierárquica os elementos fundamentais do DeFi, englobando ativos digitais, protocolos financeiros descentralizados, operações e transações, além dos participantes e agentes envolvidos. Ademais, a ontologia contempla mecanismos econômicos como

---

<sup>7</sup> Empresa brasileira especializada em serviços de meteorologia, oferecendo previsão do tempo e análises climáticas para diversas áreas. Disponível em <https://www.climatempo.com.br/>. Acesso em: 02 jul. 2025

taxas, colateralização, liquidez e risco, permitindo a modelagem formal das regras e processos que regem as interações entre essas entidades. Esse modelo semântico, objetiva fomentar a interoperabilidade entre projetos e protocolos distintos, estabelecendo um vocabulário padronizado e uma linguagem comum que facilite a integração e o desenvolvimento modular, seguro e eficiente de novas soluções DeFi. Ao prover uma base conceitual consistente, a ontologia busca reduzir ambiguidades e aprimorar a automação na interpretação de dados e contratos inteligentes, possibilitando que agentes automatizados e DApps interajam de forma dinâmica e confiável. Consequentemente, além de subsidiar o desenvolvimento de DApps, a ontologia contribui para atividades de auditoria, análise de riscos e construção de ferramentas de monitoramento e gestão no ecossistema DeFi, promovendo a consolidação e maturidade do setor.

#### 4.4.2. ***Levantamento de Competência***

Para orientar a construção da DeFi-Ontology, foi realizado o levantamento de questões de competência que a ontologia deve ser capaz de responder. Essas questões funcionam como parte importante dos requisitos funcionais, sendo derivadas dos cenários representativos mapeados na etapa de modelagem, especialmente os estudos de caso descritos na Seção 4.3. O levantamento das questões de competência faz parte da metodologia de construção de ontologia adotada e têm como objetivo validar se os conceitos, entidades e relações definidos na ontologia conseguem representar adequadamente os fenômenos e operações típicas do ecossistema DeFi.

Retomando o que foi apresentado na Seção 4, a ontologia elaborada tem como propósito preencher a lacuna da heterogeneidade conceitual de uma área emergente motivada por uma busca de organização do conhecimento envolvendo compreensão, padronização e clareza dos conceitos acerca do ecossistema para a construção de DApps. A seguir, apresentam-se as questões formuladas com base nos estudos de caso de empréstimos com colateral (Aave), trocas de ativos (Uniswap) e seguros com oráculos climáticos (AgroSeguro):

*QC1. Quais são as instâncias da ontologia envolvidas em uma operação de empréstimo executada por um contrato inteligente?*

*QC2. Quais instâncias de agentes participaram de uma operação de troca de ativos (swap) em uma aplicação descentralizada (DApp)?*

*QC3. Quais são as fontes de dados utilizadas por um contrato inteligente em operações que dependem de oráculos?*

*QC4. Quais entidades podem assumir o papel de agente em uma aplicação descentralizada (DApp)?*

*QC5. Quais instâncias de contratos inteligentes são utilizados em um protocolo específico e quais instâncias de eventos foram executados por eles?*

As questões de competência (QCs) guiam a construção da ontologia DeFi, pois elas representam as principais consultas que a ontologia deve ser capaz de responder após sua implementação. Cada QC ajuda a delimitar e estruturar o domínio de conhecimento: A QC1 direciona-se à representação de empréstimos com garantias colateralizadas, exigindo que a ontologia identifique todas as instâncias das classes envolvidas, os tokens, os contratos inteligentes e os eventos de empréstimo. A QC2 foca nas operações de troca (*swap*) de ativos digitais, demandando a modelagem dos agentes participantes, dos papéis assumidos e das trocas realizadas em DApps. A QC3 trata da integração entre contratos inteligentes e oráculos, o que implica na necessidade de representar fontes de dados externas e os vínculos semânticos entre contratos e serviços de informação fora da cadeia (*blockchain*). Já a QC4 avalia a capacidade da ontologia de possuir tipos diferentes de agentes em suas DApps, refletindo a flexibilidade operacional no uso de aplicações DeFi. Por fim, a QC5 verifica se a ontologia consegue expressar corretamente a composição de um protocolo, os contratos que o implementam e os eventos que estes executam, demonstrando o encadeamento lógico entre entidades, ações e participantes. Juntas, essas questões servem como guia para validar a ontologia e para sua futura aplicação em sistemas e consultas.

#### 4.4.3. **Modelagem**

A análise dos conceitos e relações à luz das ontologias BLONdiE e EthOn, em conjunto com o embasamento teórico dos estudos de Jensen, Wachter e Ross (2021), Schär (2021), e Xu e Xu (2022), permitiu construir uma ontologia para DeFi que fosse alinhada ao ecossistema DeFi. Essa abordagem de reuso e

fundamentação teórica proporciona uma modelagem mais precisa e compatível com padrões já consolidados na área de *blockchain*.

As ontologias BLONDIE e EthOn foram desenvolvidas especificamente para representar aspectos do ecossistema de *blockchain* e do *Ethereum*, respectivamente, sendo úteis para descrever entidades e processos relacionados aos contratos inteligentes e transações em redes descentralizadas. Blondie é uma ontologia modular que cobre os processos técnicos da *blockchain*, como transações, blocos, mineração e contas. EthOn é uma ontologia focada no ecossistema *Ethereum*, cobrindo aspectos como contratos inteligentes, estado e mensagens.

Os estudos de Jensen, Wachter e Ross (2021), Schär (2021) e Xu & Xu (2022) descrevem o ecossistema DeFi sob a ótica econômica e operacional, identificando elementos essenciais como governança descentralizada, liquidez, colateralização e protocolos automatizados. Com base nesses elementos, e nos conceitos centrais que deles surgem, a Tabela 1 apresenta os conceitos da ontologia com as definições utilizadas. As bases teóricas foram: (1) o estudo de Jensen, Wachter e Ross (2021); (2) de Schär (2021) e (3) Xu & Xu (2022). Além disso, após realizar o cruzamento com o escopo proposto para a DeFi-Ontology, foi indicado se o conceito estaria ou não presente na ontologia desenvolvida, de forma a atender o escopo proposto.

Tabela 1: Conceitos e definições

Conceito	Definição	Relações com Blondie/ EthOn/ OntoFine	Base Teórica	Escopo da DeFi-Ontology
<b><i>DistributedLedger</i></b>	Livro-razão distribuído e imutável de transações mantido por uma rede de nós.	Blondie	(1)	Não
<b><i>Blockchain</i></b>	um tipo de arquitetura de banco de dados distribuído em que uma rede descentralizada de participantes mantém uma máquina de estados única	Blondie	(1) e (2)	Sim
<b><i>Block</i></b>	Unidade de dados que contém um conjunto de transações validadas e um hash que o liga ao bloco anterior.	Blondie	(1) e (2)	Sim

<b>Governance</b>	Processo de tomada de decisões que afeta o desenvolvimento ou operação de um protocolo ou sistema.	Não presente diretamente	(1)	Não
<b>Decentralized Governance</b>	Governança onde as decisões são tomadas de forma distribuída, frequentemente por meio de tokens de voto.	Não presente diretamente	(1)	Não
<b>DApp</b>	Aplicações descentralizadas que operam em redes <i>blockchain</i> , geralmente executando contratos inteligentes.	Não presente diretamente	(2)	Sim
<b>Smart Contract</b>	Programa autoexecutável que opera em <i>blockchain</i> , executando ações automáticas conforme regras definidas.	EthOn	(2)	Sim
<b>Protocol</b>	Conjunto de regras que governam as operações e interações em uma rede <i>blockchain</i> ou sistema DeFi.	Não presente diretamente	(2)	Sim
<b>Token</b>	Representação digital de um ativo ou unidade de valor em uma <i>blockchain</i> , podendo ter funções de utilidade, governança ou reserva de valor.	OntoFine	(2)	Sim
<b>Market Mechanism</b>	Regras e incentivos que guiam as interações econômicas em um protocolo DeFi, como precificação automatizada e pools de liquidez.	Não presente diretamente	(2)	Não
<b>Gas</b>	Taxa paga para executar operações em uma <i>blockchain</i> , geralmente em redes como <i>Ethereum</i> .	EthOn	(3)	Sim
<b>Hash</b>	Representação criptográfica de um dado, usada para assegurar a integridade e imutabilidade das transações e blocos.	Blondie	(3)	Não
<b>Decentralized Exchange</b>	Plataforma de negociação de ativos em <i>blockchain</i> , sem intermediários, que utiliza contratos inteligentes para executar ordens.	Não presente diretamente	(2)	Sim
<b>Yield Aggregator</b>	Plataforma DeFi que automatiza estratégias de investimento e otimiza retornos a partir de diferentes oportunidades de rendimento.	Não presente diretamente	(3)	Sim

<b>Oracle</b>	Serviço que fornece dados do mundo externo para contratos inteligentes, possibilitando a execução baseada em informações fora da <i>blockchain</i> .	Não presente diretamente	(3)	Sim
<b>Transaction</b>	Registro de operação em <i>blockchain</i> , envolvendo a movimentação de ativos ou execução de contratos.	Blondie	(1)	Sim
<b>Account</b>	Entidade que possui endereços e saldos em uma <i>blockchain</i> , podendo ser controlada por uma pessoa ou contrato.	Blondie, EthOn	(1)	Sim
<b>Wallet</b>	estrutura responsável por armazenar e gerenciar os ativos digitais e credenciais de autenticação associadas a um usuário	Não presente diretamente	(3)	Sim
<b>Liquidity Pool</b>	Conjunto de ativos depositados por usuários em um protocolo DeFi para facilitar negociações automatizadas.	Não presente diretamente	(2)	Não
<b>Liquidity Provider</b>	Agente que deposita ativos em um <i>pool</i> de liquidez em troca de rendimentos.	Não presente diretamente	(2)	Sim
<b>Swap</b>	Operação automatizada de troca de ativos em um <i>pool</i> de liquidez.	Não presente diretamente	(2)	Não
<b>State</b>	Representação do saldo e dos dados armazenados de contas e contratos em um determinado momento.	EthOn	(1)	Não
<b>Risk</b>	Possibilidade de perda financeira ou falha operacional em um protocolo DeFi.	OntoFine	(3)	Não
<b>Governance by Token</b>	Processo de governança descentralizada em que decisões são votadas por detentores de tokens específicos.	Não presente diretamente	(1)	Não
<b>Core</b>	Infraestrutura base que fornece funcionalidades essenciais para o funcionamento de um protocolo ou aplicação DeFi.	Não presente diretamente	(1) e (2)	Não
<b>Asset Exchange</b>	Plataforma que permite a troca direta de ativos digitais entre usuários,	Não presente diretamente	(2)	Não

	podendo englobar DEXs e soluções híbridas.			
<b>Stablecoin</b>	Token que busca manter paridade estável com um ativo de referência (geralmente o dólar), usado como meio de troca e reserva de valor.	Não presente diretamente	(2)	Não
<b>Derivative</b>	Instrumento financeiro cujo valor deriva de outro ativo, como futuros, opções e swaps em DeFi.	Não presente diretamente	(1) e (2)	Não
<b>Lending</b>	Plataforma ou protocolo que permite empréstimos e tomada de crédito utilizando ativos digitais como colateral.	Não presente diretamente	(1), (2) e (3)	Sim
<b>Loanable</b>	Ativo digital disponível para ser emprestado ou tomado como empréstimo em plataformas DeFi.	Não presente diretamente	(2)	Não
<b>Mixer</b>	Serviço que busca ofuscar o histórico e origem dos ativos digitais, melhorando a privacidade das transações em <i>blockchain</i>	Não presente diretamente	(3)	Não
<b>Portfolio Management</b>	Ferramenta ou protocolo que auxilia investidores a gerenciar automaticamente e otimizar a alocação de seus ativos digitais em DeFi.	Não presente diretamente	(2)	Não

Fonte: Elaborado pelo autor

Para além dos conceitos levantados, uma ontologia é composta das relações entre eles, baseando-se na descrição apresentada pelos autores mostrados na tabela anterior, a Tabela 2 apresenta como esses conceitos se relacionam entre si. Através da descrição apresentada é possível compreender a cardinalidade a ser implementada.

Tabela 2: Relações entre conceitos para a DeFi-Ontology

Origem	Relação	Destino	Descrição
Bloco	contém	Transação	Cada bloco contém uma ou mais transações.
Transação	consume	Gas	Cada transação consome exatamente uma unidade de gas.

Bloco	é parte de	<i>Blockchain</i>	Cada bloco pertence a uma única <i>blockchain</i> e uma <i>blockchain</i> é composta por múltiplos blocos.
Contrato-Inteligente	implementado em	<i>Blockchain</i>	Contratos inteligentes são implementados em <i>blockchains</i> .
Protocolo	implementado por	Contrato-Inteligente	Cada protocolo é implementado por um ou mais contratos inteligentes.
Contrato-Inteligente	gerencia	Token	Contratos inteligentes gerenciam a emissão e o controle de tokens.
DApp	é composto por	Contrato-Inteligente	DApps são compostas por um ou mais contratos inteligentes.
Token	usado em	DApp	Tokens são utilizados em DApps.
Protocolo	usa	Token	Protocolos utilizam tokens como meio de operação.
Oráculo	usado por	Protocolo	Oráculos são utilizados por protocolos para fornecer dados externos.
Carteira	possui	Conta	Cada carteira possui uma ou mais contas associadas.
Usuário	gerencia	Carteira	Cada carteira é gerenciada por um único usuário.
Usuário	assume papel	Agente	Um usuário assume o papel de agente ao interagir com o sistema.
Software	assume papel	Agente	Um software pode atuar como agente no sistema.
ProvedorDeLiquidez	é um tipo	Agente	Um agente pode assumir temporariamente o papel de provedor de liquidez.

Fonte: Elaborado pelo autor

Para possibilitar uma análise metafísica dos termos, cada conceito levantado foi analisado individualmente, considerando sua aplicação, sua classificação na gUFO, e suas relações intrínsecas:

### **Blockchain**

De acordo com a fundamentação teórica adotada, o conceito de *blockchain* incorporado à ontologia é definido como "um tipo de arquitetura de banco de dados distribuído em que uma rede descentralizada de participantes mantém uma máquina de estados única" (Jensen; Wachter; Ross, 2021, p. 47, tradução nossa). À luz da gUFO, tal conceito é classificado como uma instância do estereótipo **gUFO: <<kind>>**, uma vez que *blockchain* apresenta um princípio de identidade

única. No contexto da ontologia BLONDIE, o termo "*blockchain*" não é modelado como uma classe, pois a própria ontologia é concebida como uma representação do domínio de *blockchains*, cobrindo três tecnologias específicas. Conforme afirmado por Ugarte-Rojas e Chullo-Llave (2020), a ontologia abrange o domínio de *blockchains* em três tecnologias relevantes. Dessa forma, qualquer instância definida na BLONDIE está, necessariamente, associada a uma das três *blockchains* consideradas. No que tange às suas relações ontológicas, a entidade *blockchain* é composta por múltiplos blocos (*block*) e sua operação é viabilizada por meio da implementação de contratos inteligentes.

### **Bloco (Block)**

Na ontologia desenvolvida, a entidade `:Bloco` é concebida como uma estrutura de dados fundamental em uma *blockchain*, responsável por agrupar um conjunto de transações válidas. Cada bloco representa uma unidade de atualização do estado da *blockchain* e está criptograficamente encadeado ao bloco anterior, o que garante a imutabilidade e a rastreabilidade da cadeia. Segundo Jensen, Wachter e Ross (2021, p. 47), "*Transactions in the database represent state transitions disseminated amongst network participants in 'blocks' of data*", destacando o papel dos blocos com os usuários da rede. Dentro da gUFO, o conceito de `:Block` é classificado como `gUFO:<<kind>>`, uma vez que possui um princípio de identidade intrínseco e persistente ao longo do tempo — um bloco, desde sua criação, mantém sua identidade ontológica como bloco.

No escopo da ontologia BLONDIE, `BLONDIE:Block` é modelado como uma classe independente, possuindo os atributos `heightBlock`, `minerBlock`, `stateBlock`, `totalCoinsBlock` e `totalTransactionsBlock`, que refletem aspectos relevantes de sua representação computacional. Na ontologia proposta, optou-se por definir atributos específicos como `hash`, `hashAnterior`, `numeroTransacoes`, `tempo`, `numero`, `tamanho` e `estado`. A inclusão desses atributos visa capturar as propriedades essenciais para o encadeamento dos blocos (como, `hash` e `hashAnterior`), a identificação sequencial (`numero`), o registro cronológico (`tempo`), a quantificação das operações realizadas (`numeroTransacoes`) e o estado do bloco (`estado`). Essas características visam descrever, o comportamento e a estrutura lógica dos blocos em uma *blockchain*,

bem como suas relações de composição com a entidade **:Blockchain** e de contenção com a entidade **:Transações**.

### **Transações (Transaction)**

Na ontologia proposta, a entidade **:Transações** representa eventos fundamentais no funcionamento de uma *blockchain*, sendo definidas como mensagens assinadas digitalmente que promovem alterações no estado da rede distribuída. Retomando a mesma frase de Jensen, Wachter e Ross (2021, p. 47), "*Transactions in the database represent state transitions disseminated amongst network participants in 'blocks' of data*", destacando o papel das transações como mecanismos de transição dentro dos blocos. À luz da gUFO, Transações são classificadas como **gUFO:«event»**, uma vez que se tratam de ocorrências que acontecem ao longo do tempo e produzem mudanças observáveis no sistema.

No modelo ontológico apresentado, cada instância de **:Transações** está associada a um bloco específico por meio da relação de composição "contém", sendo que um bloco pode conter zero ou mais transações, e cada transação pertence necessariamente a um único bloco. Além disso, foi modelada a relação "consome" entre **:Transações** e **:Gas**, indicando que cada transação consome uma certa quantidade de recursos computacionais (gas), refletindo uma prática comum nas *blockchains*.

Os atributos definidos para **:Transações** na ontologia "id" e "dados" visam capturar o conteúdo informacional de cada instância. Essa modelagem permite representar de forma adequada a dinâmica dos eventos transacionais que constituem o núcleo funcional das operações em *blockchain*.

No contexto da ontologia BLONDiE, a classe **:Transações** também está presente e é modelada com o atributo "**senderTransaction**", o qual representa o agente originador da transação. Esse atributo explicita a origem da ação transacional na rede *blockchain*. Contudo, na ontologia aqui desenvolvida, optou-se por uma abordagem mais genérica e flexível por meio do atributo "dados", que incorpora não apenas o remetente, mas também demais informações relevantes da transação (como destinatário, valor, e instruções específicas).

## **Gas**

Na ontologia desenvolvida, a entidade **:Gas** é modelada como um evento que representa a unidade de medida do custo computacional associado à execução de transações em uma *blockchain*. Trata-se de um mecanismo para regular o uso dos recursos da rede, atribuindo um valor econômico à execução de operações. Conforme destacado por Jensen, Wachter e Ross (2021, p. 47), "*Computational expenditures are priced on the open market. This design choice is intended to mitigate excessive use of resources leading to network congestion or abuse*", o que evidencia o papel regulador da precificação no mercado aberto, sendo o gas a unidade de medida usada para tal. À luz da gUFO, **:Gas** é classificado como um evento, pois corresponde a um consumo que ocorre em um ponto específico no tempo, vinculado diretamente à execução de uma transação.

A ontologia estabelece uma relação de dependência entre **:Gas** e **:Transações**, indicando que cada transação consome exatamente uma quantidade de gas, sendo esse consumo parte do processo de execução computacional da operação. O atributo quantidade foi definido para representar o total de unidades de gas exigidas por uma transação específica.

No escopo da ontologia EthOn, o conceito de gas não é modelado como uma entidade autônoma, mas representado por meio de atributos vinculados à classe **EthOn:Transaction**, como "**Transaction Gas Price**" e "**Tx gas used**", com a finalidade de registrar informações específicas sobre o consumo de gas. Por sua vez, na DeFi-Ontology, optou-se por modelar o gas como uma entidade separada, com o objetivo de tornar mais visível seu papel e suas relações no interior do ecossistema DeFi. Dessa forma, a inclusão de **:Gas** na ontologia permite capturar aspectos fundamentais da governança de desempenho e custo dentro de sistemas descentralizados baseados em *blockchain*.

## **Contrato Inteligente (Smart Contract)**

Na ontologia desenvolvida, a entidade **:ContratoInteligente** é caracterizada por atributos que descrevem sua estrutura funcional e comportamental, incluindo **endereco**, **codigo**, **estado**, **funcoes**, **blockchainOrigem**, **autonomia** e **transparencia**. Esses atributos foram definidos a fim de representar aspectos do contrato inteligente: **endereco** identifica

sua localização única na *blockchain*; **codigo** armazena a lógica computacional; **estado** reflete a condição interna do contrato ao longo do tempo; **funcoes** descreve os métodos disponíveis para interação; **blockchainOrigem** indica a rede onde o contrato está hospedado; **autonomia** expressa sua capacidade de execução independente; e **transparencia** refere-se à visibilidade de suas operações para os participantes da rede.

No modelo, um **:ContratoInteligente** implementa uma ou mais *blockchains* e pode ser implementado por um ou mais protocolos, refletindo a modularidade e a reutilização comuns no ecossistema DeFi. Além disso, os contratos inteligentes são responsáveis por gerenciar *tokens*, estabelecendo as regras e condições para sua emissão e uso. Eles também compõem DApps, formando a base lógica que suporta as funcionalidades oferecidas por essas aplicações.

Essa modelagem detalhada permite representar a complexidade dos contratos inteligentes e seu papel nas arquiteturas de serviços descentralizados, sendo indispensável para descrever adequadamente os fluxos operacionais levando em consideração o escopo aqui definido.

### **Aplicações Descentralizadas (DApps)**

A entidade **:DApp** representa aplicações descentralizadas voltadas ao usuário, construídas sobre uma *blockchain permissionless*. Essas aplicações são compostas por um ou mais contratos inteligentes, que implementam toda a lógica de negócio de forma autônoma e imutável. "*DeFi applications are deployed as sophisticated smart contracts and thus execute a given business logic deterministically*" (Jensen; Wachter; Ross, 2021, p. 47), o que evidencia que as DApps não são sistemas monolíticos, mas sim composições de contratos inteligentes interligados, executados de forma determinística por todos os validadores da rede.

No contexto da gUFO, DApps são classificadas como **:gUFO<<kind>>**, pois possuem identidade própria e distinguível, sendo reconhecidas como instâncias independentes dentro do ecossistema digital. Na ontologia proposta, uma **:DApp** é composta por um ou mais **:ContratoInteligente**, os quais representam os componentes computacionais responsáveis pelas operações da aplicação. Além

disso, *DApps* utilizam *tokens* para a viabilização de suas funcionalidades, seja como meio de pagamento, ativo de governança, ou instrumento de incentivo.

Os atributos definidos para a entidade `:DApp` (`nome`, `contratos`, `frontEnd`, `tipoServico` e `permissoes`) foram incluídos para representar tanto os aspectos técnicos quanto funcionais das aplicações. O atributo `contratos` permite referenciar os contratos inteligentes que compõem sua estrutura; `frontEnd` identifica a interface com a qual os usuários interagem; `tipoServico` descreve a natureza do serviço oferecido (como troca de ativos, empréstimos ou *staking*); e `permissoes` documenta eventuais restrições de uso ou papéis de usuários. Essa modelagem permite representar o funcionamento das *DApps* no ecossistema, ressaltando sua modularidade, interoperabilidade e autonomia.

### **Token e suas especializações**

A entidade `:Token` representa uma unidade digital de valor emitida e gerenciada por meio de contratos inteligentes em uma *blockchain permissionless*. Os *tokens* são fundamentais para o funcionamento do ecossistema DeFi, atuando como instrumentos de troca, ativos de governança, garantias de empréstimo, entre outras funções. "*Tokenization enables the creation of assets. [...] Tokens are an essential part of the DeFi ecosystem*" (Schär, 2021, p. 138). Esse destaque de Schar ressalta que a tokenização viabiliza a criação e circulação de ativos digitais de forma programável e segura.

Do ponto de vista ontológico, *Token* é classificado como `gUFO:<<kind>>`, uma vez que apresenta um princípio de identidade próprio e constante ao longo de sua existência na *blockchain*. No modelo apresentado, cada *token* é gerenciado por um `:ContratoInteligente`, que define suas regras de emissão, distribuição, transferência e eventualmente sua destruição. Além disso, *tokens* são utilizados em *DApps* como componentes para execução de funcionalidades, pagamento de taxas, liberação de acessos ou participação em processos decisórios, e é possível observar esse comportamento nos estudos de caso apresentados anteriormente.

Na DeFi-Ontology, optou-se por modelar a entidade *Token* exclusivamente como um `gUFO:<<kind>>`, e não como um `gUFO:<<relator>>`, com o objetivo de alinhar a estrutura ontológica às características operacionais e ontológicas observáveis no ecossistema DeFi. Embora os casos de uso gerados considerem

*tokens* como *relators* por estarem envolvidos em relações entre agentes e contratos, a ontologia proposta parte da premissa de que o *token* representa uma entidade digital com identidade própria, persistente ao longo do tempo e com propriedades intrínsecas, como **símbolo**, **tipo** e **endereço**. Isso caracteriza um **gUFO:<<kind>>** segundo a gUFO, já que *tokens* não existem apenas enquanto mediação de uma relação, mas podem ser tratados autonomamente em processos como emissão, transferência e armazenamento. Além disso, modelá-los dessa forma permite simplificar e generalizar a estrutura ontológica, facilitando a interoperabilidade com aplicações computacionais. Assim, essa decisão favorece uma representação mais clara, reutilizável e computacionalmente eficiente para os diversos cenários de uso da ontologia no contexto das DeFi. Para a entidade *Token* foram implementados os atributos já mencionados: **símbolo**, **tipo** e **endereço**, além de **nome** e **emissão**. Essa modelagem permitiu representar a natureza lógica e os aspectos operacionais dos *tokens* no ambiente DeFi, considerando sua integração com contratos inteligentes, DApps e protocolos financeiros.

A relação entre a classe **:Token** e suas especializações **:Fungível** e **:NãoFungível** visa representar adequadamente a diversidade de ativos digitais utilizados neste domínio. Modelar **:Token** como um **gUFO:<<kind>>** permite capturar a generalidade da noção de token digital, enquanto as subclasses **gUFO:<<subkind>> :Fungível** e **gUFO:<<subkind>> :NãoFungível** introduzem uma distinção ontológica entre os dois principais tipos de ativos. *Tokens* fungíveis, como *stablecoins* e criptomoedas nativas (por exemplo, USDC e ETH), são intercambiáveis entre si e geralmente utilizados em operações financeiras como trocas e empréstimos. Já tokens não fungíveis (NFTs) representam ativos únicos, comumente empregados na representação de itens digitais ou direitos específicos. Essa diferenciação evidencia a coerência das inferências semânticas, possibilitando a formalização de restrições, regras e comportamentos distintos nos protocolos e DApps. Assim, a estrutura ontológica garante que qualquer instância de *token* seja obrigatoriamente classificada como fungível ou não fungível, respeitando as características operacionais e econômicas próprias de cada categoria.

### **Protocolo (Protocol)**

A entidade `:Protocolo` representa um conjunto de regras codificadas em contratos inteligentes que definem o funcionamento de serviços financeiros descentralizados, como empréstimos, trocas de ativos, derivativos e agregadores de rendimento. Na arquitetura multicamadas de Schär, a camada de Protocolos é a terceira camada representada, e para além disso ele afirma que *“these standards are usually implemented as a set of smart contracts and can be accessed by any user (or DeFi application). As such, these protocols are highly interoperable”* (Schär, 2021, p. 156), destacando sua acessibilidade, padronização e interoperabilidade como características centrais do ecossistema DeFi.

Classificado como `gUFO:<<kind>>`, a entidade `:Protocolo` possui identidade própria e representa instâncias distintas de serviços financeiros. Na ontologia proposta, cada protocolo é implementado por um ou mais contratos inteligentes, podendo fazer uso de *tokens* para operacionalizar suas funções e de oráculos para acesso a dados externos à *blockchain*. A presença de oráculos permite que os protocolos obtenham informações do mundo externo, o que é essencial, por exemplo, na definição dinâmica de preços de ativos (como no caso de uso apresentado na Seção 4.3.3), validação de eventos e liquidação de contratos dependentes de variáveis externas.

O `:Protocolo` é especializado em subtipos como Protocolo de Empréstimo (`:LendingProtocol`), Protocolo de Troca Descentralizada (`:DEXProtocol`) e Agregador de Rendimentos (`:YieldAggregator`), permitindo a representação das diferentes categorias de serviços no domínio DeFi. Cada instância dessa classe possui atributos como `nome` e `categoria`, que identificam a aplicação e descrevem o tipo de serviço financeiro descentralizado que ela oferece.

### **Oráculos (Oracle)**

A entidade `:Oráculo` representa um mecanismo ou serviço responsável por prover dados externos ao ambiente da *blockchain*, permitindo que contratos inteligentes e protocolos descentralizados operem com base em informações do mundo real. Essa funcionalidade é essencial para aplicações financeiras que dependem de variáveis externas, como taxas de câmbio, preços de ativos ou resultados de eventos. A seguir a definição de Schär (2021):

*“Another point worth mentioning is the fact that many smart contracts are reliant on external data. Whenever a smart contract depends on data that are not natively available on-chain, the data must be provided by external data sources. These so-called oracles introduce dependencies and may, in some cases, lead to heavily centralized contract execution.”*  
(Schär, 2021, p. 171)

Classificado como **gUFO:<<kind>>** à luz da gUFO, o **:Oráculo** possui identidade própria e persistente, podendo ser reutilizado por diferentes instâncias de protocolos. Na ontologia proposta, sua relação com a classe **:Protocolo** é modelada como "usado por", indicando que um protocolo pode utilizar dados de um ou mais oráculos para complementar sua lógica de funcionamento.

A entidade **:Oráculo** inclui os atributos **fonteDados**, **validacao** e **modeloConfianca**. O atributo **fonteDados** especifica a origem das informações externas utilizadas; **validacao** descreve o processo adotado para assegurar a integridade e a veracidade dos dados fornecidos; e **modeloConfianca** caracteriza o nível de confiança estabelecido, seja por meio de redes de oráculos descentralizadas, operadores autenticados ou mecanismos de verificação automática. Essa modelagem permite representar os desafios e funções desempenhados pelos oráculos no ecossistema DeFi, em especial no que se refere à integração segura entre ambientes.

### **Agente, Usuário, Pessoa e Software**

A entidade **:Agente** é modelada como um papel desempenhado por entidades capazes de atuar ou tomar decisões no ecossistema DeFi, seja por meio de ações diretas, como a execução de transações, ou de forma automatizada, como a operação de contratos inteligentes e DApps. À luz da ontologia de fundamentação gUFO, **:Agente** é uma entidade de natureza relacional, cuja existência depende de uma instância subjacente (o portador do papel), que pode ser uma **:Pessoa** ou um **:Software**. Esta modelagem reflete a multiplicidade de formas de atuação nos sistemas descentralizados, nos quais ações podem ser iniciadas tanto por usuários humanos quanto por artefatos computacionais.

A entidade **Pessoa** é classificada como **gUFO:<<kind>>**, representando indivíduos humanos com identidade própria. A partir dela, deriva-se o **gUFO:<<subkind>> :Usuário**, que é a especialização de **:Pessoa** no contexto

da *blockchain*, identificada por seu atributo registro. Assim, todo **:Usuário** é necessariamente uma **:Pessoa**, mas nem toda **:Pessoa** desempenha o papel de **:Usuário** (por exemplo, uma pessoa qualquer que não tem nenhuma relação em qualquer operação DeFi). O **:Usuário**, por sua vez, pode assumir o papel de **:Agente** ao interagir com DApps, sendo responsável por realizar operações. Essa interação é destacada por Jensen, Wachter e Ross (2021, p. 48), ao afirmarem que "*Users interact directly with the application independent of any intermediary service provider*", enfatizando a autonomia do usuário nos sistemas DeFi.

Por outro lado, a entidade **:Software** também é modelada como **gUFO:<kind>>** e pode igualmente assumir o papel de **:Agente**, especialmente no caso de bots, aplicações automatizadas ou serviços de backend que interagem com a *blockchain* sem intervenção humana direta. Essa distinção permite representar adequadamente agentes artificiais que operam dentro da rede e executam funções com base em condições pré-definidas.

A modelagem adotada estabelece uma estrutura ontológica para representar os diferentes tipos de agentes que atuam no ambiente DeFi, possibilitando a distinção entre entidades humanas e computacionais, sem perder a capacidade de descrever suas ações no sistema. Dessa forma, a ontologia contempla a perspectiva da interação humana e os aspectos técnicos da automação, refletindo a natureza híbrida e distribuída do ecossistema.

### **Carteira (Wallet)**

A entidade **:Carteira** representa uma estrutura computacional responsável por armazenar e gerenciar os ativos digitais e credenciais de autenticação associadas a um **:Usuário**. Classificada como **gUFO:<kind>>** segundo a gUFO, a Carteira possui identidade própria e persistente, sendo a interface de interação entre o usuário e a *blockchain*. A **:Carteira** permite que operações como envio e recebimento de *tokens*, assinatura de transações e interação com contratos inteligentes sejam realizadas de forma segura e verificável. A relação ontológica entre Carteira e Usuário é de gerenciamento, indicando que cada carteira é gerenciada por um único usuário.

Além disso, a entidade **:Carteira** figura de forma recorrente em todos os casos de uso propostos pela inteligência artificial na Seção 3, evidenciando sua

centralidade nos fluxos operacionais. Seja em operações de troca de *tokens*, empréstimos, staking ou interação com DApps, a *:Carteira* atua como ponto de partida e controle das ações executadas pelo usuário, justificando sua inclusão como componente fundamental da ontologia.

### **Conta (Account)**

A entidade *:Conta* representa a instância que armazena os saldos de ativos digitais vinculados a uma *:Carteira*, sendo responsável pelo controle do montante disponível. Classificada como *gUFO: <<kind>>* segundo a gUFO, a *:Conta* possui identidade única e persistente, o que justifica sua modelagem como uma entidade autônoma. A relação entre *:Conta* e *:Carteira* é de posse, indicando que cada carteira está associada a uma ou mais contas, enquanto cada conta pertence a exatamente uma carteira. Essa separação conceitual permite representar de forma mais precisa a multiplicidade de saldos e tipos de ativos que uma única carteira pode controlar, além de possibilitar a distinção entre diferentes endereços e finalidades dentro da mesma interface de gerenciamento.

A *:Conta* apresenta dois atributos principais: *numero* e *saldo*. O atributo *numero* corresponde ao identificador único da conta, equivalente ao endereço no contexto das *blockchains*. Embora na EthOn a entidade correspondente seja denominada *EthOn:Account* e modelada com o atributo *address*, na ontologia atual optou-se por utilizar o termo *numero*, considerando a familiaridade conceitual herdada dos sistemas bancários tradicionais, nos quais contas são comumente identificadas por números. Essa escolha visa facilitar a compreensão por parte dos usuários e pesquisadores que transitam entre os domínios financeiro tradicional e descentralizado.

O atributo *saldo* representa o valor atual armazenado na conta, permitindo o rastreamento quantitativo de ativos sob custódia. A inclusão da entidade *Conta* complementa a modelagem da *:Carteira* ao explicitar sua composição interna e operacionalizar o vínculo entre identidades digitais e seus respectivos saldos na *blockchain*.

### **Provedor de Liquidez (Liquidity Provider)**

O *:ProvedorDeLiquidez* é modelado como uma *gUFO: <<phase>>* do papel *:Agente*, representando uma condição transitória assumida por agentes que

contribuem com ativos a pools de liquidez em protocolos descentralizados, como DEXs, plataformas de empréstimos ou agregadores de rendimento. Trata-se de um tipo específico de atuação no ecossistema DeFi, em que o agente fornece capital ao sistema, em troca de recompensas financeiras vinculadas ao volume de transações ou à taxa de utilização da liquidez ofertada. Jensen, Wachter e Ross (2021, p. 49) destacam essa função ao afirmarem que os usuários "*supply capital to the application in order to ensure liquidity for traders or borrowers*", evidenciando o papel desses agentes na sustentação do funcionamento dos mercados descentralizados.

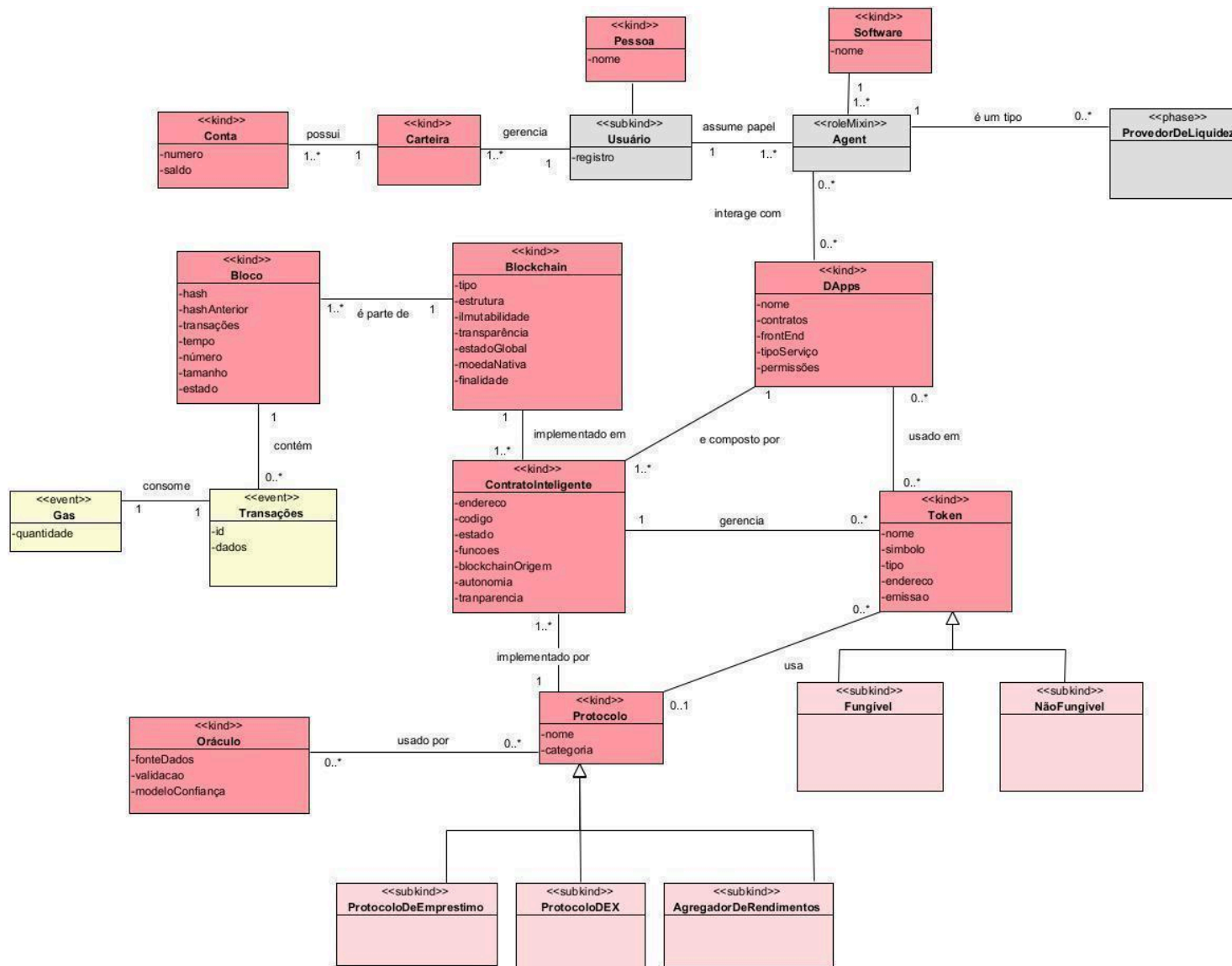
Na perspectiva da gUFO, a modelagem como **gUFO: <<phase>>** é adequada, uma vez que a condição de provedor de liquidez não é permanente, podendo ser assumida ou abandonada ao longo do tempo por qualquer agente. Assim, qualquer **:Agente** — seja um usuário humano ou software — pode vir a desempenhar essa função ao interagir com protocolos que ofereçam mecanismos de liquidez compartilhada.

É importante destacar que, considerando os objetivos das ontologias BLONDIE, EthOn e OntoFINE, diversas entidades selecionadas para a DeFi-Ontology não estão representadas diretamente, pois, essas entidades se situam fora do escopo proposto. Além disso, a DeFi-Ontology possui um escopo mais abrangente, contemplando elementos que antecedem a camada de *blockchain* propriamente dita e incluindo também conceitos oriundos de contextos paralelos, como o das finanças tradicionais, contempladas pela OntoFINE.

Dessa forma, a etapa de modelagem consolidou os conceitos centrais do ecossistema DeFi, integrando elementos fundamentais e outros termos relevantes. Esses conceitos foram organizados e interligados por meio de relações coerentes e alinhadas com as ontologias Blondie e EthOn, além de embasadas pelos estudos teóricos de Jensen, Wachter e Ross (2021), Schär (2021) e Xu & Xu (2022). Essa estrutura conceitual visa garantir que a ontologia resultante tenha capacidade de responder às questões de competência definidas previamente, conforme avaliação da ontologia descrita na etapa de avaliação. Assim, a ontologia proposta se torna apta a representar os principais processos e agentes do ecossistema DeFi, servindo como base para consultas e inferências sobre os fenômenos do setor.

Após a definição das classes, relações e atributos, o modelo ontológico foi elaborado por meio da ferramenta Visual Paradigm. A escolha dessa ferramenta se justifica por sua compatibilidade com a modelagem em OntoUML e pela possibilidade de representar visualmente estruturas ontológicas de forma padronizada, facilitando a análise e validação do modelo. O resultado dessa modelagem pode ser observado na Figura 10.

Figura 10: Modelo ontológico no Visual Paradigm



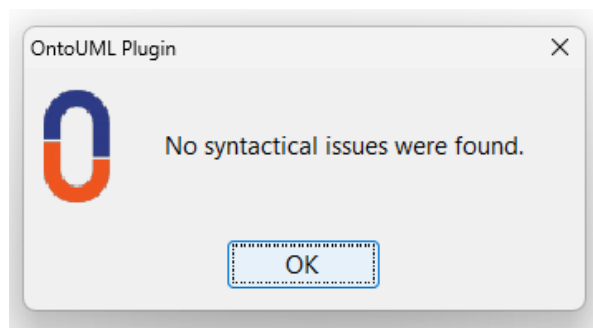
Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4.4. Implementação

A implementação da DeFi-Ontology foi conduzida por meio do software Protégé<sup>8</sup>, amplamente utilizado para o desenvolvimento e visualização de ontologias OWL (*Web Ontology Language*). No ambiente Protégé, as classes, propriedades de objeto e propriedades de dados foram estruturadas conforme o modelo conceitual gerado na etapa anterior. Cada conceito identificado (como *Blockchain*, *Transação*, *Token*, *ContratoInteligente*, *Oráculo* e *Protocolo*) foi formalizado com suas respectivas restrições semânticas, domínio e co-domínio, e axiomas lógicos, garantindo consistência na representação do domínio DeFi. Foram adotadas boas práticas de anotação semântica, utilizando `rdfs:label`, `rdfs:comment` e outras propriedades de anotação para descrever adequadamente os elementos da ontologia.

Durante o processo de implementação, foi realizada uma inspeção preliminar do modelo conceitual utilizando o plugin OntoUML integrado à ferramenta Visual Paradigm, com o intuito de verificar a conformidade sintática do modelo à Ontologia de Fundamentação. Conforme demonstrado na Figura 11, não foram identificadas inconsistências ontológicas nem violações aos estereótipos do gUFO, o que reforça a robustez do modelo elaborado. Essa validação foi essencial para assegurar que as relações entre os elementos ontológicos respeitassem os princípios da ontologia de fundamentação adotada.

Figura 11: Checagem de modelo no Plugin OntoUML do Visual Paradigm



Fonte: Elaborado pelo autor

---

<sup>8</sup> Ferramenta de software de código aberto, desenvolvida na Universidade de Stanford, usada para construir modelos de conhecimento e sistemas inteligentes, especialmente na área de ontologias.

A ontologia implementada encontra-se organizada em módulos conceituais, de forma a facilitar sua manutenção, evolução e eventual reuso (como o aproveitamento de relações, definições, cardinalidades, entre outros). A modularização permite, por exemplo, que componentes como "*Tokens*" ou "Contratos Inteligentes" possam ser reutilizados ou adaptados em outros contextos de *blockchain* ou sistemas descentralizados. Essa estrutura também facilita a futura publicação da ontologia em repositórios semânticos abertos, bem como sua integração com ferramentas de inferência lógica ou execução de consultas SPARQL. A implementação, portanto, consolida os esforços de especificação, levantamento e modelagem realizados nas etapas anteriores, tornando a DeFi-Ontology uma ferramenta formalizável, interoperável e apta ao uso prático e acadêmico.

#### 4.4.5. **Avaliação**

A avaliação da DeFi-Ontology tem como objetivo verificar sua capacidade de representar de maneira adequada os conceitos, entidades e relações que compõem o ecossistema DeFi com base no escopo previamente definido. Foi realizada uma análise interna da ontologia quanto à sua capacidade de responder às questões de competência, formuladas a partir de situações representativas do domínio. A análise foi conduzida exclusivamente com base nas classes e relações efetivamente presentes no modelo conceitual, evitando inferências não sustentadas pela estrutura implementada. O resultado dessa análise pode ser conferido na Subseção 4.4.5.1.

Complementarmente, foi elaborado um estudo de caso prático envolvendo uma operação de troca de ativos. Esse exemplo foi desenvolvido para simular a aplicação real da ontologia em um cenário simulado, servindo como instrumento adicional para validação prática. A execução da troca exigiu a representação de um agente que interage com uma DApp, que por sua vez é composta por contratos inteligentes responsáveis pela gestão de tokens fungíveis — o que evidenciou a capacidade da ontologia em representar de forma integrada os elementos fundamentais do ecossistema.

Por fim, a ontologia foi verificada quanto à sua consistência lógica por meio da ferramenta Protégé, utilizando validação ontológica padrão em OWL. Adicionalmente, o modelo conceitual foi submetido à checagem de conformidade

sintática com a gUFO por meio do plugin OntoUML no Visual Paradigm. Conforme ilustrado na Figura 11, nenhuma inconsistência sintática foi detectada, o que confirma a aderência do modelo aos princípios ontológicos adotados.

#### 4.4.5.1. *Análise das Questões de Competência*

As questões de competência formuladas foram analisadas à luz da estrutura final da DeFi-Ontology, conforme representada no modelo conceitual apresentado na Figura 10. Para a avaliação da capacidade da ontologia em responder a essas questões, foram utilizados os elementos ontológicos — classes, relações e instâncias — definidos no modelo. Inicialmente, foram cadastradas na ontologia as instâncias exemplificadas na Seção 4.3, de forma a prover uma base mínima de dados sobre a qual as consultas pudessem ser realizadas. Em seguida, empregou-se o software Apache Jena Fuseki<sup>9</sup>, uma plataforma de código aberto que oferece suporte à publicação de dados RDF e à execução de consultas SPARQL por meio de uma interface web e um *endpoint* SPARQL. Por meio dessa ferramenta, foram realizadas consultas SPARQL específicas para cada uma das questões de competência, permitindo verificar empiricamente se a ontologia proposta é capaz de representá-las e respondê-las de forma satisfatória.

*QC1. Quais são as instâncias da ontologia envolvidas em uma operação de empréstimo executada por um contrato inteligente?*

Essa questão é respondida por meio da identificação das relações entre as classes `ProtocoloDeEmprestimo`, `ContratoInteligente` e `Token`. Cada `ProtocoloDeEmprestimo` é uma especialização de `Protocolo`, o qual é implementado por um ou mais `ContratoInteligente`. Esses contratos, por sua vez, gerenciam `Token`. Logo, ao identificar os tokens gerenciados por contratos associados a um protocolo de empréstimo, é possível inferir os ativos envolvidos na operação.

Para a visualização da resposta a essa questão de competência, foi elaborada uma consulta SPARQL conforme descrita no Quadro abaixo. A execução dessa consulta no ambiente Fuseki resultou na obtenção das instâncias correspondentes, conforme ilustrado na Figura 12. Considerando-se a base de dados reduzida

---

<sup>9</sup> Disponível em: <https://jena.apache.org/documentation/fuseki2/>. Acesso em 07 jul. 2025

utilizada (composta pelas instâncias exemplificadas na Seção 4.3.1), a consulta retornou corretamente os tokens gerenciados pelos contratos inteligentes vinculados a protocolos de empréstimo, a saber, Token ETH e Token USDC .

```
SELECT DISTINCT ?emprestimo ?contrato ?token
WHERE {
  ?emprestimo rdf:type :ProtocoloDeEmprestimo .
  ?emprestimo :implementadoPor ?contrato .
  ?contrato rdf:type :ContratoInteligente .
  ?contrato :gerencia ?token .
  ?token rdf:type :Token .
}
```

Figura 12: Realização da consulta SPARQL

The screenshot shows a web interface for running SPARQL queries. The query is pasted into a text area and executed. The results are displayed in a table with three columns: 'emprestimo', 'contrato', and 'token'. Two rows of results are shown, each containing URIs for an loan, a smart contract, and a token.

emprestimo	contrato	token
1 <https://ricardo.bib.br/defi#emprestimo_aave_bob>	<https://ricardo.bib.br/defi#aave_contract>	<https://ricardo.bib.br/defi#eth_token>
2 <https://ricardo.bib.br/defi#emprestimo_aave_bob>	<https://ricardo.bib.br/defi#aave_contract>	<https://ricardo.bib.br/defi#usdc_token>

Fonte: Elaborado pelo autor através do software Apache Jena Fuseki

**QC2. Quais instâncias de agentes participaram de uma operação de troca de ativos (swap) em uma aplicação descentralizada (DApp)?**

Na ontologia, **Pessoa** e **Software** podem assumir o papel de **Agente**, que por sua vez interage com **DApps**. As **DApps** são compostas por **ContratoInteligente**, e estes, por sua vez, gerenciam **Token**. Adicionalmente, o **ProtocoloDEX** é um subtipo de **Protocolo** e está conectado aos contratos inteligentes responsáveis pelas operações de troca. Assim, a partir da interação dos agentes com **DApps** e da estrutura contratual do **ProtocoloDEX**, é possível identificar os participantes da operação de troca.

Para responder a essa questão de competência utilizando a base de dados instanciada previamente (conforme demonstrado na Seção 4.3.2), foi elaborada e executada uma consulta SPARQL, cuja estrutura encontra-se descrita no Quadro abaixo. A execução dessa consulta no ambiente Fuseki retornou como resultado a instância do agente "Alice", e também a instância da aplicação descentralizada, evidenciando que a ontologia é capaz de representar adequadamente a participação de agentes em operações de troca de ativos realizadas por meio de DApps. Esse resultado demonstra a consistência da modelagem ontológica no que se refere às interações entre agentes, DApps e os contratos associados a protocolos de troca.

```
SELECT DISTINCT ?agente ?dapp
WHERE {
  ?swap rdf:type :ProtocoloDEX ;
        :implementadoPor ?contrato .

  ?contrato rdf:type :ContratoInteligente ;
            :compostoPor ?dapp .

  ?dapp rdf:type :DApp .

  ?agente rdf:type :Agente ;
          :interageCom ?dapp .
}
```

**QC3. Quais são as fontes de dados utilizadas por um contrato inteligente em operações que dependem de oráculos?**

A ontologia modela explicitamente a entidade **Oráculo**, a qual contém os atributos **fonteDados**, **validacao** e **modeloConfianca**. Cada **Oráculo** pode ser usado por um ou mais **Protocolo**, e o **Protocolo**, por sua vez, é implementado por **ContratoInteligente**. Assim, a pergunta é respondida por meio da recuperação da fonte de dados do **Oráculo** vinculado ao protocolo que fundamenta o contrato inteligente utilizado em uma determinada operação.

Para responder a esta questão de competência, foi elaborada uma consulta SPARQL voltada à recuperação do atributo `fonteDados` de todos os oráculos instanciados na ontologia, conforme apresentado no Quadro abaixo. A consulta foi executada com base nas instâncias previamente cadastradas, conforme descrito na Seção 4.3.3. Como resultado, o ambiente Fuseki retornou a fonte de dados "API

ClimaTempo", demonstrando que a ontologia é capaz de representar de forma adequada a origem das informações utilizadas por contratos inteligentes em operações dependentes de oráculos.

```
SELECT DISTINCT ?oraculo ?fonte
WHERE {
  ?oraculo rdf:type :Oraculo ;
           :fonteDados ?fonte .
}
```

*QC4. Quais entidades podem assumir o papel de agente em uma aplicação descentralizada (DApp)?*

A QC 4 pode ser respondida por meio da análise estrutural da ontologia proposta, sem a necessidade de consultas a instâncias específicas. A DeFi-Ontology foi concebida de modo a permitir que diferentes entidades possam assumir o papel de **Agente** em uma aplicação descentralizada (DApp). Nesse modelo, a classe **Pessoa**, representada por instâncias como **Usuário**, e a classe **Software** estão diretamente relacionadas à classe **Agente** por meio da propriedade **assumePapel**. Essa modelagem reflete a realidade dos ecossistemas descentralizados, nos quais tanto indivíduos humanos quanto programas autônomos podem atuar como agentes executores de ações. A consulta SPARQL apresentada no Quadro abaixo foi elaborada para identificar as classes que assumem esse papel na ontologia, retornando como resultado as classes **Usuário** e **Software**, o que demonstra a capacidade da ontologia de representar distintos perfis de agentes no contexto de DApps.

```
SELECT DISTINCT ?classe
WHERE {
  ?classe :assumePapel :Agente .
}
```

*QC5. Quais instâncias de contratos inteligentes são utilizados em um protocolo específico e quais instâncias de eventos foram executados por eles?*

Cada instância de **Protocolo** é implementada por um ou mais **ContratoInteligente**. A ontologia modela também que um

**ContratoInteligente** gerencia um ou mais **Token**. Assim, ao identificar um protocolo, é possível percorrer sua relação com os contratos correspondentes e, a partir destes, obter os tokens por eles administrados. A especialização dos protocolos em **ProtocoloDeEmprestimo**, **ProtocoloDEX** e **AgregadorDeRendimentos** permite, ainda, contextualizar a finalidade do contrato e o tipo de token gerenciado.

Para responder a esta questão de competência, foi elaborada a consulta SPARQL apresentada no Quadro abaixo. Essa consulta permite recuperar todas as instâncias de contratos inteligentes vinculadas a um determinado protocolo, a partir das relações definidas na ontologia. No exemplo implementado, foi utilizada a classe **ProtocoloDeEmprestimo** como base para a consulta. O resultado obtido retorna as instâncias desse tipo de protocolo juntamente com os contratos inteligentes que os implementam, permitindo, posteriormente, identificar os tokens gerenciados por esses contratos. Nota-se a capacidade da ontologia em representar a estrutura operacional de protocolos descentralizados, bem como os ativos por eles administrados.

```
SELECT DISTINCT ?protocolo ?contrato
WHERE {
  ?protocolo rdf:type :ProtocoloDeEmprestimo .
  ?protocolo :implementadoPor ?contrato .
}
```

#### 4.4.5.2. *Estudo de Caso: uma aplicação simples*

Como parte do processo de avaliação da ontologia desenvolvida, esta seção apresenta um estudo de caso prático utilizado para avaliar parte de sua estrutura, destacando o contexto, os objetivos e os benefícios potenciais de sua adoção.

No ecossistema de DeFi, é comum a existência de múltiplas fontes de dados com esquemas heterogêneos, o que dificulta sua integração e análise conjunta. Nesse contexto, a ontologia proposta foi elaborada com o propósito de oferecer um vocabulário comum e um modelo conceitual unificado, capaz de descrever, relacionar e consultar esses dados de forma estruturada. Tal abordagem visa, entre

outros benefícios, apoiar o desenvolvimento de DApps voltados à resolução de demandas sociais por meio de soluções tecnológicas baseadas em *blockchain*.

Considerando que DApps e outras soluções em DeFi representam uma transformação na forma como serviços financeiros são concebidos e executados, este estudo de caso foi empregado como um método adicional de avaliação da ontologia proposta. O objetivo foi verificar a capacidade da ontologia em representar adequadamente os conceitos fundamentais envolvidos no desenvolvimento de DApps e/ou *blockchains* simples. Durante a implementação da aplicação descentralizada utilizada no estudo, foram observados desafios típicos da modelagem de sistemas orientados a objetos, especialmente no que se refere à definição das classes que compõem sua arquitetura. Nesse contexto, a ontologia foi analisada quanto à sua utilidade e aderência na representação conceitual desses elementos, contribuindo para validar sua aplicabilidade prática.

Para fins de exemplificação prática, foi desenvolvido um DApp destinado à execução de uma transação na *blockchain Ethereum*. O código correspondente encontra-se no Apêndice A. A transação, após executada, foi formalizada como uma requisição integrada por meio da ferramenta de testes *Ethereum Ganache*, que permite a simulação de uma *blockchain Ethereum* localmente, proporcionando um ambiente controlado para o desenvolvimento e teste de contratos inteligentes (Porto; Cardoso; Bussador, 2024). Esse ambiente possibilitou a simulação de contas *Ethereum*, permitindo verificar que, ao final da execução do código, o valor transferido foi corretamente debitado da conta de origem e creditado na conta de destino, conforme ilustrado na Figura 13.

A implementação do DApp foi realizada com o uso da biblioteca Web3 para a linguagem de programação PHP, projetada para facilitar a interação de aplicações PHP com a *blockchain Ethereum*. Essa biblioteca permite a conexão com nós *Ethereum*, a realização de consultas, o envio de transações e a interação com contratos inteligentes. A biblioteca possui suas próprias classes internas e, por se tratar de uma DApp, sua classe principal denomina-se *Contract*, que assume as funções atribuídas ao conceito de `:ContratoInteligente` na DeFi-Ontology. Este conceito representa um programa executado em *blockchain*, responsável por realizar ações automáticas conforme regras previamente definidas.

A classe *Transaction*, por sua vez, desempenha o papel estabelecido na ontologia, na qual um *:ContratoInteligente* executa uma *:Transação*. No código-fonte do DApp, essa classe é instanciada com os atributos necessários para viabilizar a transferência de valores entre contas *Ethereum*.

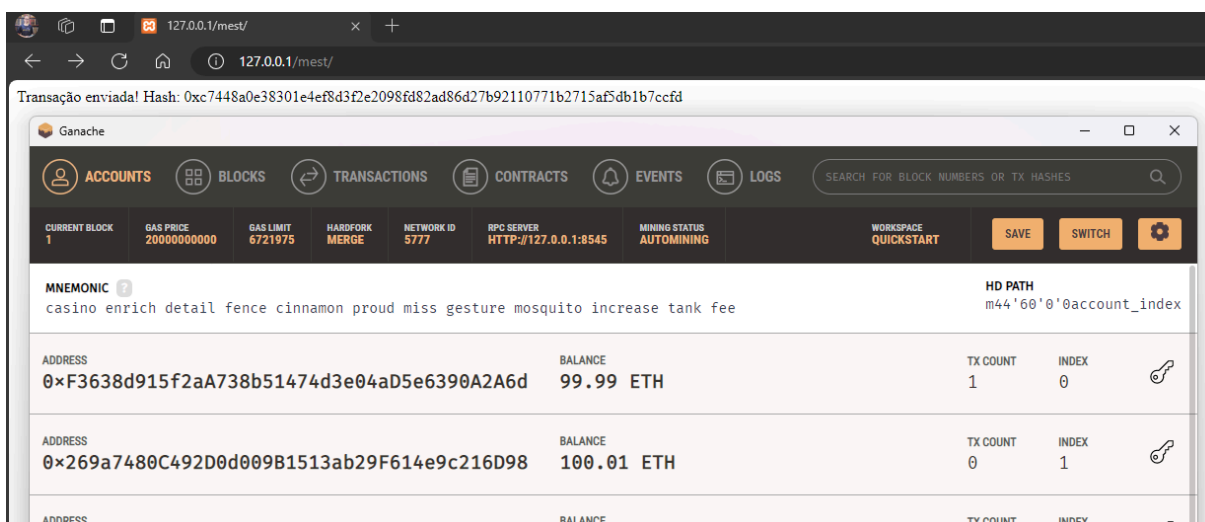
Por fim, a Tabela 3 apresenta todos os conceitos da ontologia diretamente empregados na construção desse DApp, demonstrando a aplicabilidade prática da ontologia no apoio ao desenvolvimento de soluções descentralizadas.

Tabela 3: Classe da DeFi-Ontology utilizados no estudo de caso

<b>Conceito Utilizado</b>	<b>Descrição do uso</b>
<b><i>Blockchain</i></b>	Incorporado dentro da Biblioteca
<b>Bloco</b>	Incorporado dentro da Biblioteca
<b><i>DApps</i></b>	O próprio código é uma DApp pois ao utilizar a biblioteca opera em uma rede <i>blockchain</i> do software Ganache
<b>ContratoInteligente</b>	Incorporado dentro da DApp
<b><i>Gas</i></b>	Taxa paga para executar operações em uma <i>blockchain</i> , assume nesse exemplo o valor de 2100 Gwei (valor mínimo)
<b><i>Hash</i></b>	Representação criptográfica de um dado, usada para assegurar a integridade e imutabilidade das transações e blocos, nesse exemplo, o hash é gerado após conclusão da transação
<b>Transação</b>	Objetivo fim do código, onde ele é montado dentro de uma variável e recebe os dados como o valor da transação, a conta de origem e destino
<b>Conta</b>	Entidade que possui endereços e saldos em uma <i>blockchain</i> , salva dentro do Ganache.
<b>Estado</b>	Representação do saldo e dos dados armazenados no Ganache

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13: Resultado da execução do código elaborado, onde é possível obter o Hash da transação, e também é possível consultar através do software Ganache, o valor que foi debitado de uma conta de origem e foi creditado em uma conta de destino



Fonte: Elaborado pelo autor

O Estudo de Caso apresentado desempenha um papel duplo no processo de construção da DeFi-Ontology. Por um lado, ele serve como exemplo que destaca a necessidade de tal estrutura, mostrando como a ausência de uma organização formalizada de conceitos pode dificultar o entendimento e a comunicação. Por outro lado, ele valida a proposta ao mostrar, na prática, os benefícios obtidos por meio da aplicação da ontologia, permitindo que seus usuários compreendam como sua implementação pode facilitar e otimizar os processos, atendendo a necessidades reais.

## 5. RESULTADOS

Como resultado desta pesquisa, foi construída e implementada a DeFi-Ontology, uma ontologia fundamentada na Unified Foundational Ontology (UFO), que representa conceitualmente os principais elementos do ecossistema DeFi. O desenvolvimento seguiu a metodologia SABiO, cobrindo desde a especificação de propósitos e usos até a implementação computacional no software Protégé. A ontologia resultante oferece uma estrutura capaz de representar tokens, contratos inteligentes, protocolos, oráculos, carteiras, agentes e outros elementos centrais às operações financeiras descentralizadas de acordo com o escopo previamente especificado. A definição dos propósitos da ontologia guiou a identificação dos requisitos funcionais e não funcionais necessários à sua modelagem.

A construção da ontologia considerou o reuso parcial de modelos existentes, como BLONDiE (Ugarte-Rojas; Chullo-Llave, 2020), EthOn (Besançon *et al.*, 2022) e OntoFINE (Amaral, 2022), na relação entre termos. A análise desses modelos permitiu extrair conceitos úteis e também identificar lacunas de cobertura, que foram preenchidas com base em literatura e casos de uso específicos. O mapeamento de termos possibilitou consolidar um vocabulário alinhado ao escopo da ontologia.

O uso da UFO proporcionou metaclasses (na forma de estereótipos UML) que orientaram a definição dos conceitos da DeFi-Ontology, permitindo obter rigor semântico e coerência na modelagem dos componentes do ecossistema, assegurando que os conceitos definidos fossem ontologicamente consistentes e alinhados a uma base teórica. Em paralelo, a implementação através da gUFO possibilitou uma implementação da UFO, de modo que a ontologia se tornasse apta para análise, inferências e integração com outras ontologias do domínio.

A ferramenta Protégé foi utilizada para a formalização do modelo em OWL, e o plugin OntoUML no Visual Paradigm foi empregado para verificação sintática. O resultado foi uma ontologia que atende ao escopo proposto, consistente e validada logicamente, apta a ser reutilizada, estendida e integrada em aplicações computacionais voltadas à Web Semântica, à análise de contratos inteligentes e ao suporte ao desenvolvimento de DApps.

A validação da DeFi-Ontology ocorreu por três frentes distintas. Foram adotadas: (i) a análise de casos de uso representativos; (ii) a elaboração de

questões de competência e; (iii) a implementação prática de uma aplicação descentralizada que utilizou os conceitos da DeFi-Ontology. Os casos de uso incluíram interações com protocolos de empréstimos colateralizados, troca de tokens e seguros baseados em oráculos climáticos (previsão do clima), todos formalizados com base na ontologia. As questões de competência foram implementadas via SPARQL sobre uma instância RDF da ontologia, demonstrando que ela é capaz de responder a consultas sobre operações DeFi. Por fim, a implementação de um serviço DeFi em ambiente simulado (com o uso do Ganache e da biblioteca Web3 em PHP) evidenciou o alinhamento entre a ontologia e as necessidades reais de desenvolvimento de sistemas descentralizados.

A DeFi-Ontology demonstrou, portanto, aderência à realidade operativa dos serviços DeFi e às práticas de desenvolvimento de DApps. Sua estrutura, fundamentação ontológica e validação prática conferem-lhe potencial de reutilização e extensão em contextos diversos.

Visando à transparência e à reprodutibilidade científica, todos os artefatos desenvolvidos foram disponibilizados publicamente no repositório GitHub<sup>10</sup>. Este repositório reúne o arquivo da ontologia (DeFi-Ontology.ttl), o modelo conceitual de referência em formato visual, o formato visual dos casos de uso e o código-fonte do estudo de caso apresentado.

---

<sup>10</sup> <https://github.com/ricardobrunoc/defiontology>

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo desenvolver uma ontologia para o ecossistema DeFi, visando contribuir para a padronização conceitual e a promoção da interoperabilidade entre diferentes plataformas e protocolos no uso de DApps. As ações específicas realizadas foram organizadas em quatro etapas principais: (i) a identificação e seleção dos conceitos e relações fundamentais do ecossistema DeFi que subsidiam a construção da ontologia, conforme apresentado na Seção 2; (ii) o mapeamento, a classificação e a definição dos elementos e componentes do ecossistema, abordados nas Seções 4.3 e 4.4.3; (iii) a construção da ontologia fundamentada nos conceitos mais recorrentes e relevantes identificados, cuja sistematização está descrita na Seção 4.4.4; e (iv) a avaliação da eficácia da ontologia por meio de testes e estudos de caso, conforme discutido na Seção 4.4.5.

A partir de uma abordagem fundamentada metodologicamente, buscou-se estruturar formalmente os conceitos essenciais do ecossistema DeFi. Como resultado tem-se uma ontologia que padroniza os conceitos e promove o compartilhamento de conhecimento e interoperabilidade semântica entre aplicações, protocolos e agentes. O problema central abordado pela pesquisa é a heterogeneidade conceitual do ecossistema DeFi, um campo multidisciplinar em rápida expansão que congrega termos, práticas e tecnologias oriundas de diversas áreas. A ontologia desenvolvida oferece uma representação formal e compartilhável que visa mitigar tais ambiguidades conceituais e terminológicas. Os objetivos propostos foram alcançados: a DeFi-Ontology foi especificada, modelada, implementada e validada por meio de casos de uso e análise de questões de competência respondidas com consultas SPARQL, demonstrando sua capacidade de representar adequadamente o domínio.

A justificativa da pesquisa, esteve centrada na necessidade de organizar o conhecimento sobre DeFi em um formato claro e reutilizável, de modo a fortalecer a segurança, a interoperabilidade e a sustentabilidade do ecossistema. A ausência de um modelo conceitual abrangente tem gerado dificuldades na concepção e implementação de sistemas DeFi robustos, bem como na integração de serviços financeiros descentralizados. Diante disso, a pesquisa mostrou-se justificada tanto do ponto de vista teórico, ao contribuir para a ciência da informação e da computação com a proposição de um artefato ontológico fundamentado, quanto do

ponto de vista prático, ao oferecer subsídios à implementação de soluções computacionais, no domínio DeFi, alinhadas à Web Semântica.

### **6.1. Limitações**

Apesar dos resultados obtidos, algumas limitações devem ser reconhecidas. A principal delas reside na ausência de uma validação empírica junto a especialistas do domínio. Embora a ontologia tenha se baseado na literatura, em ontologias preexistentes e fundamentada na UFO, a ausência de uma avaliação sistemática com especialistas em DeFi, *blockchain* ou mercado financeiro restringe a compreensão de sua aplicabilidade em outros contextos que não aqueles utilizados em sua validação nesta pesquisa. Além disso, a escolha por uma avaliação predominantemente documental e computacional pode ter limitado a detecção de problemas de usabilidade, compreensão ou abrangência da ontologia.

### **6.2. Trabalhos Futuros**

Como continuidade deste trabalho, sugerem-se várias direções de aprofundamento e extensão. A primeira delas é a realização de estudos empíricos com especialistas de diferentes áreas, como desenvolvedores, arquitetos de sistemas, economistas e juristas atuantes em projetos DeFi. Esses estudos podem subsidiar ajustes e refinamentos na ontologia, ampliando sua utilidade prática e sua aceitação pela comunidade. Para além dessa validação com especialistas na área de DeFi, uma proposta de trabalho futuro é a utilização da inteligência artificial para também realizar a validação da ontologia, e posteriormente comparar os resultados de ambas as avaliações a fim de compreender a contribuição da IA como agente validador de ontologias de um determinado campo.

Além disso, futuras pesquisas podem se concentrar na expansão do escopo da ontologia para incluir conceitos mais específicos dos serviços DeFi, como derivativos, *stablecoins*, DAOs (Organizações Autônomas Descentralizadas) e mecanismos de governança. Também se recomenda a integração da DeFi-Ontology com outras ontologias da Web Semântica, para permitir aplicações em contextos financeiros mais amplos.

Por fim, seria valioso o desenvolvimento de ferramentas baseadas na ontologia, como assistentes de modelagem, validadores semânticos para contratos

inteligentes, ou interfaces gráficas para exploração e consulta da ontologia, de modo a ampliar o impacto e a aplicabilidade do trabalho em contextos reais de desenvolvimento e educação.

### **6.3. Contribuições do trabalho**

Conclui-se, portanto, que a DeFi-Ontology constitui uma contribuição relevante, porém inicial, para a estruturação do conhecimento no domínio das finanças descentralizadas. Sua construção responde a uma demanda por clareza conceitual e interoperabilidade, oferecendo um artefato formal reutilizável que pode apoiar tanto a pesquisa quanto a prática no desenvolvimento de soluções baseadas em contratos inteligentes e aplicações Web3.

## REFERÊNCIAS

- AL BREIKI, Hamda; REHMAN, Muhammad Habib Ur; SALAH, Khaled; SVETINOVIC, Davor. Trustworthy blockchain oracles: Review, comparison, and open research challenges. **IEEE Access**, v. 8, p. 85675–85691, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992698>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- ALMEIDA, Maurício Barcellos; BAX, Marcello Peixoto. Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção. **Ciência da informação**, v. 32, p. 7-20, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-19652003000300002>. Acesso em 30 set. 2024.
- ALMEIDA, Maurício Barcellos. Uma abordagem integrada sobre ontologias: Ciência da Informação, Ciência da Computação e Filosofia. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 19, p. 242-258, 2014.
- ALMEIDA, Maurício Barcellos. **Ontologia em Ciência da Informação: Teoria e Método**. Curitiba: CRV, 2020. 377 p.
- AMARAL, Glenda Carla Moura. **An Ontology Network in Finance and Economics: Money, Trust, Value, Risk and Economic Exchanges**. 2022. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Faculty of Computer Science, Free University of Bozen-Bolzano, Bozen-Bolzano, 2022.
- ANTONOPOULOS, Andreas. **Bitcoin security model: trust by computation**. Radar O'Reilly, 2014.
- AO, Ziqiao; CONG, Lin William; HORVATH, Gergely; ZHANG, Luyao. Is decentralized finance actually decentralized? A social network analysis of the Aave protocol on the Ethereum blockchain. **arXiv preprint**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.08401>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- BAQA, Hamza; TRUONG, Nguyen Binh; CRESPI, Noel; LEE, Gyu Myoung; GALL, Franck le. Semantic Smart Contracts for Blockchain-based Services in the Internet of Things. In: 18TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NETWORK COMPUTING AND APPLICATIONS (NCA), 1 set. 2019, Cambridge, MA, USA. **Anais...** [S.l.]: IEEE, 1 set. 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8935016>. Acesso em 11 set. 2024
- BENBACHIR, Soufiane; AMZILE, Karim; BERAICH, Mohamed. Exploring the Asymmetric Multifractal Dynamics of DeFi Markets. **Journal of Risk and Financial Management**, Basel, v. 18, n. 3, p. 122, mar. 2025. DOI: 10.3390/jrfm18030122. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1911-8074/18/3/122>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- BESANÇON, Léo; SILVA, Catarina Ferreira da; GHODOUS, Parisa; GELAS, Jean-Patrick. A Blockchain Ontology for DApps Development. **IEEE Access**, v. 10, p. 49905–49933, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3173313>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- BÖHME, Rainer; CHRISTIN, Nicolas; EDELMAN, Benjamin; MOORE, Tyler. Bitcoin: Economics, Technology, and Governance. **The Journal of Economic Perspectives**,

v. 29, n. 2, p. 213-238, 2015. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24292130> . Acesso em 09 jun. 2023.

BORST, Willem Nico. **Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse**. 1997. Centre for Telematics and Information Technology (CTIT), 1997. Disponível em: <https://research.utwente.nl/en/publications/construction-of-engineering-ontologies-for-knowledge-sharing-and->. Acesso em 04 out. 2024.

BUTERIN, Vitalik. A next-generation smart contract and decentralized application platform. **white paper**, v. 3, p. 2–1, 2014. Disponível em: [https://www.weusecoins.com/assets/pdf/library/Ethereum\\_white\\_paper-a\\_next\\_generation\\_smart\\_contract\\_and\\_decentralized\\_application\\_platform-vitalik-buterin.pdf](https://www.weusecoins.com/assets/pdf/library/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf). Acesso em 22 set. 2024.

CAMPOS, Josué N.; OLIVEIRA, Isdael R.; FONTINELE, Alexandre; GONÇALVES, Glauber D.; VIEIRA, Alex B.; NACIF, José Augusto M. Impacto do Paradigma de Separação Proponente-Construtor em Ataques Sanduíche na Rede Ethereum. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS (SBRC), 43. , 2025, Natal/RN. **Anais**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2025 . p. 756-769. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/sbrc.2025.6357>. Acesso em 29 jun. 2025.

CANO-BENITO, Juan; CIMMINO, Andrea; GARCÍA-CASTRO, Raúl. Toward the Ontological Modeling of Smart Contracts: A Solidity Use Case. **IEEE Access**, v. 9, p. 140156–140172, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3115577>. Acesso em: 9 jun. 2024.

CRESWELL, John W. **Research Design: Qualitative, quantitative, and Mixed Methods Approaches**. 4. ed. London: Sage Publications Ltd, 2014.

DING, Ying; FOO, Schubert. Ontology research and development. Part 1 - a review of ontology generation. **Journal of Information Science**, v. 28, n. 2, 123–136, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/016555150202800204>. Acesso em: 22 dez. 2024.

ETHEREUM FOUNDATION. **Ethereum Foundation**. Disponível em: <https://ethereum.foundation/>. Acesso em: 8 mar. 2025.

FALBO, Ricardo de Almeida. SABiO: Systematic Approach for Building Ontologies. In: **Joint Workshop ONTO.COM / ODISE on Ontologies in Conceptual Modeling and Information Systems Engineering** (Co-located with 8th International Conference on Formal Ontology in Information Systems, FOIS 2014). Rio de Janeiro – RJ, Brasil. 2014. Disponível em: [https://nemo.inf.ufes.br/wp-content/papercite-data/pdf/sabio\\_systematic\\_approach\\_for\\_building\\_ontologies\\_2014.pdf](https://nemo.inf.ufes.br/wp-content/papercite-data/pdf/sabio_systematic_approach_for_building_ontologies_2014.pdf). Acesso em 13 jun. 2024.

FERREIRA, Célio Márcio Soares. **Using Blockchain and Low Power in Smart Cities to internet of things applications : a Fog Computing approach**. 2022. Tese de Doutorado em Ciência da Computação – Universidade Federal de Ouro

Preto, 2022. Disponível em:

<https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/15787>. Acesso em: 28 jun. 2024.

FLICK, Uwe. **An introduction to qualitative research**. 5. ed. Los Angeles: Sage, 2014.

FRAJHOF, Isabella Z. Os desafios da tecnologia blockchain: resenha à obra “Entender Blockchain: Uma introducción a la tecnologia de registro distribuído”, de Manuel González-Meneses. **Civilistica.com**. Rio de Janeiro, a. 8, n. 2, 2019.

Disponível em: <http://civilistica.com/os-desafios-datecnologia-blockchain/>. Acesso em 30 set. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRAMLICH, Vincent; GUGGENBERGER, Tobias; PRINCIPATO, Marc; SCHELLINGER, Benjamin; URBACH, Nils. A multivocal literature review of decentralized finance: Current knowledge and future research avenues. **Electronic Markets**, v. 33, n. 1, p. 11, 2023.

GRUBER, Thomas R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 53, n. 5-6, p. 907-928, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/IJHC.1995.1081>. Acesso em 11 jun. 2023.

GUARINO, Nicola. Understanding, building and using ontologies. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 46, n. 2-3, p. 293–310, fev. 1997. Acesso em: 10 fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/ijhc.1996.0091>. Acesso em 02 ago. 2024.

GUIZZARDI, Giancarlo. **Desenvolvimento para e com reúso**: um estudo de caso no domínio de vídeo sob demanda. 2000. 202 f. Dissertação (Mestrado em Informática). Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2000. Disponível em: [http://inf.ufes.br/~gguizzardi/dissertacao\\_msc.pdf](http://inf.ufes.br/~gguizzardi/dissertacao_msc.pdf). Acesso em 15 jun. 2024.

GUIZZARDI, Giancarlo; FALBO, Ricardo A.; GUIZZARDI, Renata S. S. **A importância de ontologias de fundamentação para a engenharia de ontologias de domínio**: o caso do domínio de processos de software. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2012. Disponível em: <https://www.academia.edu/2286418/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

GUIZZARDI, Giancarlo; WAGNER, Gerd. Conceptual simulation modeling with ONTO-UML advanced tutorial. In: **Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)**. IEEE, 2012. p. 1-15.

HARVEY, Campbell R.; RAMACHANDRAN, Ashwin; SANTORO, Joey. **DeFi and the Future of Finance**. Hoboken: Wiley, 2021. Disponível em: <https://compoundmaven.com/wp-content/uploads/2022/08/DeFi-And-The-Future-Of-Finance-Duke-University-August-2021.pdf>. Acesso em 29 jun. 2025

JACOB, Elin K. Ontologies and the Semantic Web. **Bulletin of the American Society for Information Science and Technology**, v. 29, n. 4, p. 19-19, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/bult.283>. Acesso em: 25 set. 2024.

JENSEN, Johannes Rude; WACHTER, Victor von; ROSS, Omri. An Introduction to Decentralized Finance (DeFi). **Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly**, n. 26, p. 46-54, 2021.

MARCONDES, Carlos Henrique; CAMPOS, Maria Luiza de Almeida. Ontologia e Web Semântica: o espaço da pesquisa em ciência da informação. **Ponto de Acesso**, Salvador, v. 2, n. 1, p. 107-136, jun./jul. 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/revistaici/article/view/2669/1885>. Acesso em: 15 jun. 2024.

MELLIA, Victor Crisóstomo. **Análise SWOT de Serviços Financeiros Descentralizados**. Orientadora: Valéria Cesário Times. 2022. 45 f. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação) - Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system**. 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/en/bitcoin-paper>. Acesso em 08 jun. 2024.

NOY, Natalya F.; MCGUINNESS, Deborah L. Ontology development 101 a guide to creating your first ontology. **Knowledge Systems Laboratory**, v. 32, jan. 2001. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/243772462\\_Ontology\\_Development\\_101\\_A\\_Guide\\_to\\_Creating\\_Your\\_First\\_Ontology](https://www.researchgate.net/publication/243772462_Ontology_Development_101_A_Guide_to_Creating_Your_First_Ontology). Acesso em 22 set. 2024.

OJOG, Silviu. The Emerging World of Decentralized Finance. **Informática Econômica**, Bucharest, v. 25, n. 4, p. 43-52, 2021. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/aes/infoec/v25y2021i4p43-52.html>. Acesso em: 11 jun. 2024.

POPESCU, Andrei-Dragoş. Decentralized Finance (DeFi) – The Lego of Finance. **Social Sciences and Education Research Review**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 321–349, 2020. Disponível em: <http://www.sserr.ro>. Acesso em: 11 jun. 2025.

PORTO, Pedro Henrique Riquelme; CARDOSO, Luciano dos Santos; BUSSADOR, Alessandra. Venda de ingressos on-line com autenticação via blockchain na web 3.0. **Congresso latino-americano de software livre e tecnologias abertas**. 21., 2024.

RAUTENBERG, Sandro; TODESCO, José L.; STEIL, Andrea V.; GAUTHIER, Fernando A. O. Uma Metodologia para o Desenvolvimento de Ontologias. **RECEN - Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 10, n. 2, p. 237–262, 2008. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/711>. Acesso em: 28 jun. 2024.

ROCHMAN, Ricardo Ratner. A descentralização das finanças. **GVExecutivo**, v. 22, n. 3, p. 19-24, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.12660/gvexec.v22n3.2023.89908>. Acesso em 11 set. 2024.

SARMAH, Simanta Shekhar. **Understanding Blockchain Technology**. Computer Science and Engineering, v. 8, n. 2, p. 23-29, 2018.

SCHÄR, Fabian. Decentralized Finance: On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets. **Federal Reserve Bank of St. Louis Review**, Basel, v. 103, n. 2, p. 153-174, abr. 2021. Disponível em:

[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3843844](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3843844). Acesso em: 05 abr. 2024.

SOUSA, Francisco Erberto de. **Sistema de verificação de integridade de dados baseado em oráculo de blockchain para internet das coisas (IoT)**. 2023. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, João Pessoa, 2023.

TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. **Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin and Other Cryptocurrencies Is Changing the World**. New York, New York: Portfolio/Penguin, 2016. Disponível em:

<https://icdt.osu.edu/blockchain-revolution-how-technology-behind-bitcoin-changing-money-business-and-world>. Acesso em: 25 set. 2024.

UGARTE-ROJAS, Héctor Eduardo; CHULLO-LLAVE, Boris. BLONDIE: Blockchain Ontology with Dynamic Extensibility. **arXiv**, Ithaca, n. 09518, ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.09518>. Acesso em: 05 abr. 2024.

USCHOLD, Michael; GRÜNINGER, Michael. Ontologies: Principles, methods and applications. **The Knowledge Engineering Review**, v. 11, jan. 1996. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/302937543\\_Ontologies\\_Principles\\_methods\\_and\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/302937543_Ontologies_Principles_methods_and_applications). Acesso em 11 set. 2024.

UZOUGBO, Ngozi Samuel; IKEGWU, Chinonso Gladys; ADEWUSI, Adefolake Olachi. Regulatory Frameworks for Decentralized Finance (DeFi): Challenges and opportunities. **GSC Advanced Research and Reviews**, v. 19, n. 2, p. 116–129, 30 maio 2024. Disponível em:

<https://gsconlinepress.com/journals/gscarr/sites/default/files/GSCARR-2024-0170.pdf>. Acesso em: 1 out. 2024.

VRANDECIC, Zdenko. **Ontology evaluation**. 2010. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2010. Disponível em:

<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000018419>. Acesso em 21 set. 2024.

VASANTHAPRIYAN, Shanmuganathan; TIAN, Jing; ZHAO, Dongdong; XIONG, Shengwu; XIANG, Jianwen. An Ontology-Based Knowledge Sharing Portal for Software Testing. 2017 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C). **Anais...** Prague, Czech Republic: IEEE, jul. 2017. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8004360/>. Acesso em: 20 jun. 2024

WERNER, Sam M.; PEREZ, Daniel; GUDGEON, Lewis; KLAGES-MUNDT, Arian; HARZ, Dominik; KNOTTENBELT, William J. SoK: Decentralized finance (defi). **arXiv preprint arXiv:2101.08778**, 2021. Disponível em:

<https://arxiv.org/abs/2101.08778v6>. Acesso em: 10 jun. 2024.

XU, Teng Andrea; XU, Jiahua. A short survey on business models of decentralized finance (DeFi) protocols. In: **International Conference on Financial Cryptography and Data Security**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 197-206. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-32415-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-32415-4_13). Acesso em: 25 jun. 2024.

## APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE DA APLICAÇÃO DESCENTRALIZADA

```
<?php
require_once 'vendor/autoload.php';
use Web3\Web3;
use Web3\Utils;
use Web3p\EthereumTx\Transaction; // biblioteca para criação de transações
Ethereum
// Host do Ganache
$host = 'http://127.0.0.1:8545'; // endpoint local do Ganache
$web3 = new Web3($host);

// Informações das contas
$privateKey =
'c21f38f99de1e296c3d1196calda3e39c43bfaab2293434b0d3237f6cc8a5850'; // Chave
privada gerada pelo Ganache
$senderAddress = '0x1F314D8890510c2EfCeC5555c496E356684F4015'; // Endereço
gerado pelo Ganache
$receiverAddress = '0xB0DD5c04AC3551b3e4D8B6398e81BF3d35a9fd69'; // Outro
endereço gerado pelo Ganache

// Valor a transferir (em ETH)
$amount = "0.01"; // Valor da transferência

// Converter ETH para WEI (retorna string decimal)
$weiAmount = Utils::toWei($amount, 'ether');

// Obter o nonce da conta de envio
$web3->eth->getTransactionCount($senderAddress, function ($err, $nonce) use
(&$txNonce) {
    if ($err !== null) {
        echo 'Erro ao obter nonce: ' . $err->getMessage();
        exit;
    }
    $txNonce = $nonce;
});

// Configurar os dados da transação
$transaction = [
```

```

        'nonce' => Utils::toHex($txNonce, true), // Nonce da transação em
hexadecimal
        'to' => $receiverAddress, // Endereço de destino
        'value' => Utils::toHex($weiAmount, true), // Valor em WEI (em
hexadecimal)
        'gas' => Utils::toHex(21000, true), // 21000 Gwei (gás mínimo para
transferências)
        'gasPrice' => Utils::toHex(20000000000, true), // 20 Gwei
        'chainId' => 1337 // Chain ID do Ganache
];

// Criar e assinar a transação usando EthereumTx
$tx = new Transaction($transaction);
$signedTransaction = $tx->sign($privateKey);

// Enviar a transação assinada
$web3->eth->sendRawTransaction('0x' . $signedTransaction, function ($err,
$txHash) {
    if ($err !== null) {
        echo 'Erro ao enviar transação: ' . $err->getMessage();
        return;
    }
    echo 'Transação enviada! Hash: ' . $txHash;
});

?>

```