

# Domínios, aplicações, desafios e oportunidades sobre Non-Fungible Tokens (NFT): Um mapeamento sistemático da literatura

Gislainy Crisostomo Velasco, Sergio T. Carvalho

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Caixa Postal 131 — 74001-970 — Goiânia — GO — Brasil

gislainycrisostomo@discente.ufg.br, sergio@inf.ufg.br

**Abstract.** *Non-Fungible Tokens (NFTs) have recently gained visibility for their use in the digital arts and gaming world. The ERC-721 standard allows to have unique tokens, i.e., non-interchangeable in the Blockchain ecosystem. This paper presents results of a systematic mapping aiming to bring research horizons and potential paths that can be explored with blockchain and NFT technologies, listing the main domains, applications, challenges and opportunities involving both technologies. The main contributions of this work are: (1) identification of the main domains and applications in which NFT is being employed; (2) challenges and research opportunities related to blockchain and NFT. The main challenges are in issues such as the difficulty of managing private keys, data ownership, intellectual property, and legislation with little guidance regarding copyright and the use of NFTs. There are also challenges and opportunities in the development of software solutions, especially regarding the definition of a development life cycle of tokens.*

**Resumo.** *Non-Fungible Tokens (NFTs) têm ganhado visibilidade pelo seu uso no mundo das artes digitais e jogos. O padrão ERC-721 permite ter tokens únicos, ou seja, não intercambiáveis no ecossistema Blockchain. Este artigo apresenta resultados de um mapeamento sistemático visando trazer horizontes de pesquisa e potenciais caminhos que podem ser explorados com as tecnologias blockchain e NFT, elencando os principais domínios, aplicações, desafios e oportunidades envolvendo ambas as tecnologias. As principais contribuições deste trabalho são: (1) identificação dos principais domínios e aplicações em que o NFT está sendo empregado; (2) desafios e oportunidades de pesquisa relacionadas a blockchain e NFT. Os principais desafios estão em pontos como a dificuldade de se gerenciar chaves privadas, a propriedade dos dados, propriedade intelectual e legislação com pouca orientação em relação a direitos autorais e ao uso de NFTs. Há ainda desafios e oportunidades no desenvolvimento das soluções de software, em especial quanto à definição de um ciclo de vida de desenvolvimento dos tokens.*

## 1. Introdução

*Blockchain* é uma tecnologia proposta por [Nakamoto 2008] que permite a construção de novas soluções descentralizadas, transparentes, à prova de violação pela sua imutabilidade e seguras quando combinadas com contratos inteligentes (*smart contracts*)

[Khan et al. 2020, Lin and Liao 2017]. Sua natureza descentralizada garante que as transações iniciadas por contratos inteligentes sejam executadas de forma autônoma e verdadeira [Wöhrrer and Zdun 2018].

Nesse contexto, surgiram os *Non-fungitive Tokens* (NFTs) que são um tipo especial de *token* usado para identificar algo único, ou seja, não intercambiável. Na plataforma blockchain Ethereum foi proposto o padrão ERC-721<sup>1</sup> para tokens NFT. Em contraste, tem-se o ERC-20<sup>2</sup> que representa tokens fungíveis. O padrão ERC-1155<sup>3</sup>, diferentemente, permite representar tokens fungíveis e não fungíveis com interfaces que suportam operações em lote (*e.g.*, emissão, transferência e *burn*) em uma única transação na blockchain. O ERC-1155 é mais utilizado em domínios que possuem como característica operações em lote (*e.g.*, cadeias de suprimentos, rastreabilidade de dados) possibilitando menor tempo de processamento e de gás (custo ou taxas para realizar transações no blockchain Ethereum).

O maior destaque dos NFTs está relacionado ao mercado de ativos digitais [Wang et al. 2021, Chalmers et al. 2022]. Entretanto, há outros domínios e aplicações que vêm utilizando NFTs, principalmente pela característica da unicidade e por prover condições de manter um histórico completo de todas as transações realizadas [Wang et al. 2021].

O objetivo deste artigo é trazer resultados de um mapeamento sistemático realizado com o propósito de explorar de que forma NFT e blockchain têm sido usados para a identificação única de artefatos digitais, e identificar oportunidades de pesquisa em diferentes domínios e aplicações. Em outro trabalho, [Wang et al. 2021] realizaram um estudo sistemático apresentando os principais componentes, uma avaliação de segurança dos sistemas atuais de NFT, as oportunidades e os desafios em aberto no ecossistema. Diferentemente, o mapeamento apresentado neste artigo segue o protocolo de pesquisa conforme a abordagem proposta por [Nakagawa et al. 2017] com a documentação de todas as fases. Além disso, são apresentados todos os domínios, aplicações e de que forma NFTs vêm sendo empregados em diferentes áreas, além do mercado de jogos e arte digital.

Este artigo está organizado em quatro seções, além desta introdutória. A Seção 2 apresenta o protocolo do mapeamento sistemático adotado nesse trabalho, incluindo as questões de pesquisa, as palavras-chaves e seus sinônimos, além dos critérios de inclusão, de exclusão e de qualidade. A Seção 3 apresenta a condução da pesquisa, os artigos selecionados e o formulário de extração de dados. Em seguida, a Seção 4 apresenta uma discussão sobre as questões de pesquisa levantadas. Por fim, a Seção 5 traz as conclusões e indica oportunidades de futuros trabalhos.

## 2. Metodologia de Pesquisa

A condução do mapeamento sistemático adotada nesta pesquisa seguiu a abordagem proposta por [Nakagawa et al. 2017], composta por três fases:

1. Planejamento: nesta fase é realizada a definição do objetivo de pesquisa com a elaboração e avaliação do protocolo. Nesse contexto, tem-se a definição das

---

<sup>1</sup><https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-721>

<sup>2</sup><https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-20>

<sup>3</sup><https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-1155>

questões de pesquisa, da estratégia de busca, das fontes de pesquisa, das palavras-chaves e seus sinônimos, da *string* de busca, dos critérios de seleção (inclusão e exclusão) e dos critérios de avaliação de qualidade dos artigos selecionados.

2. **Condução:** nesta fase é realizada a execução do protocolo definido na etapa anterior, realizando-se uma busca ampla junto às bases de dados escolhidas, por meio da aplicação dos critérios de inclusão e de exclusão, leitura completa dos artigos identificados, critérios de qualidade e extração dos dados.
3. **Conclusão:** esta fase se refere à divulgação da discussão e resultados obtidos na realização das fases anteriores.

Para auxiliar no processo da construção e avaliação do protocolo, seleção e condução da pesquisa foi utilizada a plataforma *online* Parsif.al<sup>4</sup>.

## 2.1. Questões de Pesquisa

As questões de pesquisa de um mapeamento sistemático são mais gerais, dado que o objetivo principal é identificar possíveis tendências de pesquisa [Nakagawa et al. 2017]. Para atender ao objetivo dessa pesquisa foram elaboradas duas questões de pesquisa (*QP1* e *QP2*).

*QP1: “Em quais domínios e aplicações, e de que forma, NFT e blockchain têm sido empregados?”.* É importante entender os domínios e as aplicações, além do mercado de arte digital, e de que forma ambas as tecnologias têm sido utilizadas, seja por algoritmos, arquiteturas ou implementações, seja por meio de modelos computacionais ou modelos matemáticos. Esta questão de pesquisa tem o potencial de identificar caminhos que podem ser explorados e possíveis horizontes de pesquisa.

*QP2: “Quais as oportunidades e desafios na área de blockchain que têm surgido para suprir as demandas de NFT?”.* É importante entender se o emprego da tecnologia de NFT está gerando novas demandas e oportunidades para pesquisa e desenvolvimento envolvendo blockchain, e, ainda, se os desafios são especificamente relacionados ao emprego de NFT.

## 2.2. Palavras-chaves e *String* de Busca

As palavras-chaves e os sinônimos selecionados foram blockchain (DLT, *Distributed ledger technology*) e *Non-Fungible Token* (*Non Fungible Token*, ERC 1155, ERC-1155, ERC1155, ERC 721, ERC-721, ERC721), derivando a seguinte *string* de busca genérica utilizada nas bases bibliográficas da ACM Digital Library<sup>5</sup> e IEEE Digital Library<sup>6</sup>:

(“*Non-Fungible Token*” OR “*ERC 1155*” OR “*ERC 721*” OR “*ERC-1155*” OR “*ERC-721*” OR “*ERC1155*” OR “*ERC721*” OR “*Non Fungible Token*”) AND (“*Blockchain*” OR “*DLT*” OR “*Distributed ledger technology*”)

Nos motores de buscas da Science@Direct<sup>7</sup>, Scopus<sup>8</sup> e Springer Link<sup>9</sup>, por conta

---

<sup>4</sup>Parsif.al é uma ferramenta *web* que auxilia no processo de planejamento e condução de revisões e mapeamentos sistemáticos da literatura no contexto da Engenharia de *Software*. O endereço eletrônico para acesso <https://parsif.al>

<sup>5</sup><https://dl.acm.org>

<sup>6</sup><http://ieeexplore.ieee.org>

<sup>7</sup><https://www.sciencedirect.com>

<sup>8</sup><https://www.scopus.com>

<sup>9</sup><https://link.springer.com>

da limitação quanto ao uso de conectores, foi utilizada a seguinte string:

*(“Non-Fungible Token” OR “ERC 1155” OR “ERC 721”) AND (“Blockchain” OR “DLT” OR “Distributed ledger technology”)*

O termo “NFT” não foi incluído por ser muito utilizado em outras áreas de pesquisa e campos do saber. O termo por extenso é bastante expressivo e está presente nos artigos publicadas nas principais bases de trabalhos científicos da área de computação.

### **2.3. Critérios de Inclusão e Exclusão**

Segundo [Nakagawa et al. 2017], os critérios de inclusão e exclusão são fundamentais para garantir a qualidade dos resultados obtidos em um mapeamento sistemático. Nesse trabalho, foi adotado somente um critério de inclusão:

- o trabalho apresenta domínio, aplicação ou, de que forma NFT está sendo empregado.

Os critérios de exclusão foram refinados ao longo do processo de condução, sendo rejeitados os artigos que:

- não apresentam domínio aplicação, ou de que forma NFT estão sendo empregados;
- não apresentam nenhuma das palavras-chaves da string de busca no título, resumo ou palavras-chaves;
- não possuem título ou resumo;
- não são científicos;
- não estão escritos nas línguas portuguesa ou inglesa;
- são uma versão mais antiga de outro estudo já incluso; e
- o texto completo não está disponível para acesso.

#### **2.3.1. Critérios de Qualidade**

Este mapeamento utilizou critérios de avaliação de qualidade para auxiliar no processo de análise dos resultados, tendo sido realizada em conjunto com o processo de extração. A seguir, os critérios de qualidades.

- O trabalho descreve o domínio que o NFT está sendo empregado?
- O trabalho descreve de que forma o NFT está sendo empregado?
- O trabalho descreve a aplicação em que o NFT está sendo empregado?
- O trabalho apresenta os desafios relacionados a blockchain e a NFT?
- O trabalho apresenta as oportunidades relacionadas a blockchain e a NFT?

## **3. Condução do Mapeamento**

Com o planejamento definido, foi iniciada a etapa de condução. O primeiro passo foi a submissão da string de busca a cada base e inserção dos resultados na ferramenta Parsif.al. Este processo teve início em outubro de 2021.

Após realizada a busca automática nas bases, foi iniciado o processo de seleção. Nessa etapa, foram selecionados os artigos pela leitura dos títulos e dos metadados (resumos e palavras-chaves) e, em alguns casos, a procura pelos termos Non-Fungible Tokens

ou ERC 721, ou ERC 1155) nos textos completos, excluindo aqueles em que os termos somente apareciam em citações de trabalhos relacionados, seguindo os critérios definidos na Subseção 2.3. Artigos duplicados foram detectados diretamente pela ferramenta.

O resultado desta etapa está na Tabela 1. Pode-se visualizar a quantidade de artigos encontrados em cada base e os artigos aceitos, rejeitados e duplicados. No total, 41 artigos foram selecionados para as etapas de avaliação de qualidade e extração de dados<sup>10</sup>. O critério de exclusão mais frequente foi “o trabalho não apresenta domínio, ou aplicação, ou de que forma NFT estão sendo empregados”.

	Encontrados	Aceitos	Rejeitados	Duplicados
ACM Digital Library	31	8	23	0
IEEE Digital Library	12	10	2	2
Science@Direct	42	8	32	2
Scopus	39	14	10	15
Springer Link	26	1	25	0

**Tabela 1. Artigos encontrados, aceitos, rejeitados e duplicados por bases.**

Após a finalização dessa etapa, foi realizada a leitura completa dos artigos, a avaliação de qualidade e a extração dos dados. O processo de extração de dados foi realizado por meio da elaboração de um formulário de extração de dados para responder às questões *QP1* e *QP2* na plataforma Parsif.al. Os tópicos do questionário estão dispostos a seguir, com a respectiva pergunta de pesquisa associada.

1. Domínio? (*QP1*)
2. De que forma NFT está sendo utilizado? (*QP1*)
3. A forma com a qual NFT está sendo utilizada: algoritmo; arquitetura; implementação; modelo computacional ou matemático; método ou outros? (*QP1*)
4. Quais desafios relacionados apenas a blockchain? (*QP2*)
5. Quais desafios relacionados apenas a NFT? (*QP2*)
6. Quais desafios relacionados a NFT e blockchain? (*QP2*)
7. Quais oportunidades relacionadas apenas a blockchain? (*QP2*)
8. Quais oportunidades relacionadas apenas a NFT? (*QP2*)
9. Quais oportunidades relacionadas a NFT e blockchain? (*QP2*)

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. (*QP1*) Em quais domínios e aplicações, e de que forma, NFT e blockchain têm sido empregados?

Há uma grande diversidade de trabalhos que empregam o uso de NFT, em sua maioria para identificação única. Nos trabalhos selecionados, 36 artigos apresentam o uso de pelo menos um domínio, sendo 21 domínios identificados. Os três principais domínios são: Jogos (16,67%) [Muthe et al. 2020, Fowler and Pirker 2021, Karapapas et al. 2021], cadeias de suprimentos (13,89%) [Felipe Munoz et al. 2021, Kuhn et al. 2021b, Madhwal et al. 2021] e rastreabilidade de dados (13,89%) [Westerkamp et al. 2020, Kuhn et al. 2021a, Kuhn et al. 2021b].

<sup>10</sup>Um apêndice com a tabela completa referente aos artigos selecionados para leitura completa e os domínios identificados foi disponibilizada para acesso em <https://bit.ly/3wBDItU>

As formas mais empregadas de NFT e blockchain são propostas em termos de arquiteturas (44,74%) e implementações (39,47%). Entre os trabalhos que usam blockchain, 82,75% usam apenas a plataforma Ethereum, 10,35% a Hyperledger Fabric e 6,9% usam ambas as plataformas. O padrão ERC-721 é o mais utilizado em 80% dos casos e ERC-1155 é o mais empregado quando se faz necessária a emissão e transferência em lote [Westerkamp et al. 2020, Felipe Munoz et al. 2021, Kuhn et al. 2021b].

No domínio de jogos, [Karapapas et al. 2021] propõem uma arquitetura para que as informações dos jogos sejam armazenadas de forma descentralizada utilizando os sistemas de arquivos distribuídos InterPlanetary File System (IPFS) e InterPlanetary Name System (IPNS), incluindo todas as evoluções dos personagens e possibilitando somente o acesso autorizado. O padrão ERC-721 é usado para representar os ativos digitais.

No contexto de cadeias de suprimentos e rastreabilidade de dados [Felipe Munoz et al. 2021] apresentam uma solução para rastrear e certificar volumes de madeiras utilizando os padrões ERC-721 e ERC-1155 para rastrear os ativos digitais. Os contratos são escritos na linguagem de programação Solidity e os dados referentes ao rastreio são armazenados na cadeia (*on-chain*). Para validar a proposta, foi realizada uma avaliação dos custos operacionais entre os dois padrões e constatou-se para esse cenário que o padrão ERC-1155 tem um menor custo de gás por permitir transferência em lotes.

Na perspectiva de facilitar a construção de contratos inteligentes sem conhecimentos aprofundados da linguagem Solidity, [Chirtoaca et al. 2020] propõem um *framework*, NFTY (*Non-Fungible Tokens made easY*), que fornece conjuntos de implementações de contratos inteligentes para o padrão ERC-721 com uma linguagem de especificação.

#### **4.2. (QP2) Quais as oportunidades e desafios na área de blockchain que têm surgido para suprir as demandas de NFT?**

Na categoria de desafios da tecnologia de blockchain, os autores de [Pirker et al. 2021] discutem sobre os desafios como privacidade e confidencialidade dos dados armazenados em aplicações corporativas. Para [Cornelius 2021], a transparência oferecida pela tecnologia não está necessariamente relacionada à responsabilidade das informações se não forem devidamente analisadas e processadas.

O uso da blockchain para gerenciamento de identidade digital é discutido por [Talamo and Pennacchi 2020]. Os autores levantam questões sobre o uso da tecnologia por uma massa crítica de usuários, e considerações sobre a usabilidade e o gerenciamento das chaves privadas, pois a perda de uma chave poderia causar a falta de acesso aos serviços públicos e privados que utilizam dessa solução.

Desafios pertencentes apenas a NFT têm sido discutidos quanto à centralização dos metadados, abordada por [Fowler and Pirker 2021, Karapapas et al. 2021]. Os autores abrem discussões sobre o que aconteceria se a empresa que emitiu um determinado NFT fosse à falência ou interrompesse a hospedagem do arquivo de mídia, pois, em muitos casos, os arquivos são armazenados em servidores centralizados de propriedade dessas empresas.

Questões como a propriedade dos dados e a propriedade intelectual são observadas por [Fowler and Pirker 2021, Karapapas et al. 2021], os quais fazem questiona-

mentos a respeito da propriedade do objeto digital. As leis de propriedades de qual país seriam aplicadas? As leis do país que reside o criador do NFT, as leis do país do comprador, as leis do país da empresa que está oferecendo aquele objeto ou, ainda, do país dos provedores de serviços que armazenam os arquivos [Fowler and Pirker 2021]? Os autores de [Karapapas et al. 2021] abordam a questão sobre se qualquer pessoa poderia ter acesso àquela obra e quem teria o direito de copiar a obra digital. Segundo [Fowler and Pirker 2021], não há muita orientação a respeito de direitos autorais de um NFT.

No contexto da comunidade de artes digitais, [Fowler and Pirker 2021] abrem discussões sobre o risco de marginalização da comunidade artística cuja atividade criativa não se adequar ao formato digital.

Vários autores levantam preocupações sobre a regulamentação do uso de blockchain e NFT [Ahmed et al. 2019, Fowler and Pirker 2021, Garcia-Teruel and Simón-Moreno 2021]. Para [Ahmed et al. 2019], não há garantias de segurança em utilizar blockchain, devido à ausência de regras. Para [Fowler and Pirker 2021], como as transações de NFT operam fora de regulamentação do governo central, há a possibilidade do seu uso para outros fins, como, por exemplo, a lavagem de dinheiro [Zetzsche et al. 2019].

Uma das principais críticas ao uso de blockchain no contexto das criptomoedas, como Bitcoin e Ethereum, está no consumo de energia necessária para a validação de um bloco [Ahmed et al. 2019, Dos Santos et al. 2021, Fowler and Pirker 2021]. Os algoritmos utilizados para a validação na camada de consenso determina impactos no tempo necessário para o processo de mineração. Para [Cocco et al. 2020], a capacidade de processamento de transações por segundos da Ethereum restringe o uso da tecnologia, além de tornar a plataforma menos eficaz em contextos de alta transferência de dados [Hasan and Starly 2020].

O ciclo de desenvolvimento dos contratos inteligentes é outro desafio elencado por vários autores. O padrão NFT (ERC-721 e ERC-1155) não determina os detalhes de implementação, tornando possível a codificação de funcionalidades não padronizadas [Chirtoaca et al. 2020, Westerkamp et al. 2020]. Os desenvolvedores de contratos inteligentes, no caso de blockchain baseada na Ethereum Virtual Machine<sup>11</sup>, necessitam compreender a linguagem Solidity ou, quando utilizada a plataforma Hyperledger Fabric, a linguagem de propósito geral suportada na plataforma [Chirtoaca et al. 2020]. Além disso, é necessária a definição de um ciclo de vida dos tokens, conforme o domínio específico envolvido [Karandikar et al. 2021].

Para [Ahmed et al. 2019], problemas de segurança, como vulnerabilidades ou *bugs*, precisam ser observados no processo de concepção do contrato inteligente. Para [Cornelius 2021], há uma necessidade de uso de contratos inteligentes automatizados.

O padrão NFT tem sido utilizado em vários domínios (*e.g.*, cadeias de suprimentos, rastreabilidade de dados, manufatura) para representar bens físicos na forma de tokens digitais por conta de suas características de unicidade e rastreabilidade durante todo o ciclo de vida. Entretanto, cada abordagem tem uma metodologia diferente para representar e sincronizar as informações entre o mundo físico e o digital. Com isso, uma

---

<sup>11</sup><https://ethereum.org/en/developers/docs/evm/>

oportunidade de pesquisa é explorar se os padrões ERC-721 e ERC-1155 são os mais adequados ou se é necessária a concepção de um novo padrão que mantenha os princípios do NFT e que possa ser utilizado de forma mais ampla pelos profissionais do domínio.

Outros desafios também foram identificados, como a interoperabilidade entre plataformas de blockchain [Mofokeng and Fatima 2018, Westerkamp et al. 2020]; sincronização das informações *off-chain* e *on-chain* [Hamledari and Fischer 2021]; rastreabilidade das informações armazenadas na cadeia de blocos sem necessidade de uso de *software* de terceiros [Domingue et al. 2019, Watanabe et al. 2019, Westerkamp et al. 2020, Kuhn et al. 2021a]; além do armazenamento dos metadados dos NFT on-chain [Muthe et al. 2020, Westerkamp et al. 2020, Dounas et al. 2021, Hasan and Starly 2020, Felipe Munoz et al. 2021, Karandikar et al. 2021].

## 5. Considerações Finais

Blockchain e NFT são tecnologias que se encontram em forte expansão, com destaque pelo seu uso no mundo das artes digitais [Wang et al. 2021, Chalmers et al. 2022]. Com essa motivação, esse mapeamento foi desenvolvido com o intuito de analisar o emprego de NFTs em outros domínios, além de oportunidades de pesquisa relacionados. Nesse contexto, somente trabalhos científicos foram considerados, o que pode suscitar uma ameaça à validade, quando se considera o emprego de NFTs como algo muito recente.

Muitos domínios de aplicações que necessitam de identificação única foram percebidos nesse estudo, seja no mundo físico (*e.g.*, cadeias de suprimentos, rastreabilidade de dados, energia, compartilhamento de carros), seja no mundo digital (*e.g.*, jogos, vídeos, músicas, artefatos digitais).

Um dos principais desafios para a construção de sistemas de software baseados em NFT e blockchain está na implementação dos padrões de NFT (ERC-721 e ERC-1155). A Openzeppelin<sup>12</sup>, por exemplo, oferece implementações de contratos seguindo os padrões de desenvolvimento de melhorias da Ethereum (Ethereum Improvement Proposals, EIP), contudo, ainda há a necessidade dos desenvolvedores compreenderem a linguagem Solidity e todo o ciclo de vida de um contrato inteligente.

## Referências

- Ahmed, M., Elahi, I., Abrar, M., Aslam, U., Khalid, I., and Habib, M. A. (2019). Understanding blockchain: Platforms, applications and implementation challenges. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Future Networks and Distributed Systems, ICFNDS '19*, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Chalmers, D., Fisch, C., Matthews, R., Quinn, W., and Recker, J. (2022). Beyond the bubble: Will nfts and digital proof of ownership empower creative industry entrepreneurs? *Journal of Business Venturing Insights*, 17:e00309.
- Chirtoaca, D., Ellul, J., and Azzopardi, G. (2020). A framework for creating deployable smart contracts for non-fungible tokens on the ethereum blockchain. In *2020 IEEE International Conference on Decentralized Applications and Infrastructures (DAPPS)*, pages 100–105.

---

<sup>12</sup><https://openzeppelin.com/>

- Cocco, L., Pinna, A., and Meloni, G. (2020). *A Blockchain Oriented Software Application in the Revised Payments Service Directive Context*, page 762–769. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.
- Cornelius, K. (2021). Betraying blockchain: Accountability, transparency and document standards for non-fungible tokens (nfts). *Information*, 12(9):358.
- Domingue, J., Third, A., and Ramachandran, M. (2019). The fair trade framework for assessing decentralised data solutions. In *Companion Proceedings of The 2019 World Wide Web Conference, WWW '19*, page 866–882, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Dos Santos, R. B., Torrisi, N. M., and Pantoni, R. P. (2021). Third party certification of agri-food supply chain using smart contracts and blockchain tokens. *Sensors*, 21(16):5307.
- Dounas, T., Jabi, W., and Lombardi, D. (2021). Topology generated non-fungible tokens: blockchain as infrastructure for a circular economy in architectural design.
- Felipe Munoz, M., Zhang, K., Shahzad, A., and Ouhimmou, M. (2021). Loglog: A blockchain solution for tracking and certifying wood volumes. In *2021 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*, pages 1–9.
- Fowler, A. and Pirker, J. (2021). *Tokenfication - The Potential of Non-Fungible Tokens (NFT) for Game Development*, page 152–157. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.
- Garcia-Teruel, R. M. and Simón-Moreno, H. (2021). The digital tokenization of property rights. a comparative perspective. *Computer Law Security Review*, 41:105543.
- Hamledari, H. and Fischer, M. (2021). Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies. *Automation in Construction*, 132:103926.
- Hasan, M. and Starly, B. (2020). Decentralized cloud manufacturing-as-a-service (cmaas) platform architecture with configurable digital assets. *Journal of manufacturing systems*, 56:157–174.
- Karandikar, N., Chakravorty, A., and Rong, C. (2021). Blockchain based transaction system with fungible and non-fungible tokens for a community-based energy infrastructure. *Sensors*, 21(11):3822.
- Karapapas, C., Pittaras, I., and Polyzos, G. C. (2021). Fully decentralized trading games with evolvable characters using nfts and ipfs. In *2021 IFIP Networking Conference (IFIP Networking)*, pages 1–2.
- Khan, U., An, Z. Y., and Imran, A. (2020). A blockchain ethereum technology-enabled digital content: Development of trading and sharing economy data. *IEEE Access*, 8:217045–217056.
- Kuhn, M., Funk, F., and Franke, J. (2021a). Blockchain architecture for automotive traceability. *Procedia CIRP*, 97:390–395. 8th CIRP Conference of Assembly Technology and Systems.

- Kuhn, M., Funk, F., Zhang, G., and Franke, J. (2021b). Blockchain-based application for the traceability of complex assembly structures. *Journal of Manufacturing Systems*, 59:617–630.
- Lin, I.-C. and Liao, T.-C. (2017). A survey of blockchain security issues and challenges. *Int. J. Netw. Secur.*, 19(5):653–659.
- Madhwal, Y., Chistiakov, I., and Yanovich, Y. (2021). Logging multi-component supply chain production in blockchain. In *2021 The 4th International Conference on Computers in Management and Business, ICCMB 2021*, page 83–88, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Mofokeng, N. and Fatima, T. (2018). Future tourism trends: Utilizing non-fungible tokens to aid wildlife conservation. *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure*, 7(4):1–20.
- Muthe, K. B., Sharma, K., and Sri, K. E. N. (2020). A blockchain based decentralized computing and nft infrastructure for game networks. In *2020 Second International Conference on Blockchain Computing and Applications (BCCA)*, pages 73–77.
- Nakagawa, E. Y., Scannavino, K. R. F., Fabbri, S. C. P. F., and Ferrari, F. C. (2017). Revisão sistemática da literatura em engenharia de software: teoria e prática.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, page 21260.
- Pirker, D., Fischer, T., Witschnig, H., and Steger, C. (2021). velink - a blockchain-based shared mobility platform for private and commercial vehicles utilizing erc-721 tokens. In *2021 IEEE 5th International Conference on Cryptography, Security and Privacy (CSP)*, pages 62–67.
- Talamo, E. and Pennacchi, A. (2020). Idtoken: a new decentralized approach to digital identity. *Open Identity Summit 2020*.
- Wang, Q., Li, R., Wang, Q., and Chen, S. (2021). Non-fungible token (nft): Overview, evaluation, opportunities and challenges. *arXiv preprint arXiv:2105.07447*.
- Watanabe, H., Ishida, T., Ohashi, S., Fujimura, S., Nakadaira, A., Hidaka, K., and Kishigami, J. (2019). Enhancing blockchain traceability with dag-based tokens. In *2019 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*, pages 220–227. IEEE.
- Westerkamp, M., Victor, F., and Küpper, A. (2020). Tracing manufacturing processes using blockchain-based token compositions. *Digital Communications and Networks*, 6(2):167–176.
- Wöhler, M. and Zdun, U. (2018). Design patterns for smart contracts in the ethereum ecosystem. In *2018 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, pages 1513–1520.
- Zetsche, D. A., Buckley, R. P., Arner, D. W., and Fohr, L. (2019). The ico gold rush: It's a scam, it's a bubble, it's a super challenge for regulators. *Harv. Int'l LJ*, 60:267.