



Proposta de uma arquitetura para gerenciamento e segurança dos dados de lotes da extração do cumarú por meio de um aplicativo *mobile* e *blockchain*

Gilnei S. S. Cardoso¹, Wagner V. Sampaio¹, Raimundo M. A. Júnior^{1,2}

¹Campus de Oriximiná – Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)
68.270-000 – Oriximiná – PA – Brasil

²Universidade Federal do ABC (UFABC)
CEP– 09210-580 – Santo André – SP – Brasil

{gs4gil,wagner.sampaio}@gmail.com, raimundo.araujo@ufopa.edu.br

Abstract. *The Amazonia 4.0 concept aims to establish an environment that enhances and at the same time protects the Amazon ecosystem. Through research and the use of information and communication technologies (ICTs), the aim is to empower Amazonian populations, enabling them to act as maintainers of this ecosystem. Therefore, in this article, we aim to develop a mobile application that offers traceability of the cumarú production chain. As a way of providing a layer of security, we carried out an initial study of the disruptive technology called blockchain.*

Resumo. *O conceito Amazônia 4.0 visa estabelecer um ambiente que proporcione a valorização e ao mesmo tempo a proteção do ecossistema amazônico. Através de pesquisas e utilização das tecnologias de informação e comunicação (TICs), busca-se o protagonismo das populações amazônicas, possibilitando que eles atuem como mantenedores desse ecossistema. Sendo assim, nesse artigo, buscamos desenvolver um aplicativo mobile que oferece a rastreabilidade da cadeia produtiva do cumarú. Como forma de oferecer uma camada de segurança, realizamos um estudo inicial da tecnologia disruptiva chamada blockchain.*

1. Introdução

A República Federativa do Brasil é sem dúvidas o país que possui a maior biodiversidade do planeta. Temos a maior parte da Amazônia presente em nosso território, cerca de 58% de toda a floresta tropical. Estudiosos têm se perguntado como seria possível realizar a otimização em relação ao aproveitamento de toda essa riqueza sem provocar mais destruição e, também, conciliar com aspectos relevantes do cenário atual que buscam o desenvolvimento sustentável das populações amazônicas com a preservação ambiental.

No trabalho de [Nobre and Nobre 2019] são abordados os aspectos em torno do Projeto "Amazônia 4.0", que visa usar tecnologias de ponta com a finalidade de agregar valor aos produtos da Amazônia sem destruir a floresta e incentivar a sua preservação. Dentre os produtos florestais produzidos pela Amazônia temos a *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f., popularmente conhecida como cumarú na região oeste do Pará. Atualmente, somos mais de 8 bilhões de pessoas no planeta e segundo a Organização das Nações Unidas [ONU 2019] a população mundial será de aproximadamente 9,7 bilhões em 2050. Esse crescimento populacional exige uma maior demanda de alimentos, resultando assim, no surgimento de métodos de produção intensiva que muitas vezes tem provocado consequências indesejáveis [Conchon 2012]. Esses métodos tem preocupado a sociedade que passou a exigir maiores informações sobre os impactos econômicos, ambientais e sociais dessas atividades, resultando em mudanças nas formas da produção agropecuária [Conchon 2012].

O consumidor atual exige mais informações dos produtos que consome. A sua origem, os processos de produção e os impactos causados ao meio ambiente estão sendo determinantes para a escolha dos produtos a serem adquiridos. A tecnologia pode contribuir com esse cenário, lançando mão de sistemas de rastreabilidade de alimentos. Atualmente, agências reguladoras e consumidores de várias partes do mundo defendem a rastreabilidade da cadeia de abastecimento de alimentos. Para isso, iniciaram uma otimização das leis e regulamentos correspondentes a essa temática [Wang et al. 2019].

2. Trabalhos Correlatos

Nessa pesquisa, conseguimos verificar que na literatura existem pouquíssimos trabalhos nacionais que abordem a parte técnica de sistemas de rastreabilidade por meio de *blockchain*. Por meio dessa análise, verificou-se que a grande maioria dos trabalhos abordam predominantemente a parte conceitual ou até mesmo propostas embasamento técnico. Ainda sim, separamos alguns trabalhos recentes que possuem similaridade com o que estamos propondo nesse artigo.

Em [Tejos et al. 2022] eles trabalharam com a cadeia produtiva do cacau da Amazônia, este trabalho propôs uma solução para tornar a cadeia produtiva do cacau produzido na Amazônia rastreável, utilizando as tecnologias *blockchain* e Internet das coisas (IoT - *Internet of Things*). De acordo com os autores este trabalho contribuiu para a criação de um sistema de rastreabilidade que armazena informações sobre os processos de uma cadeia produtiva que incluem os diversos parâmetros de operação das máquinas empregadas e dados de entrada e saída de cada processo.

Já no trabalho de [Amato 2021] foi utilizado o *blockchain* na rastreabilidade da cadeia produtiva do biodiesel. A pesquisa tinha como objetivo criar um modelo funcional para a cadeia produtiva do biodiesel através do óleo de soja e garantir um fluxo de informação e a rastreabilidade necessária para a cadeia da agroindustrial do biodiesel usando elementos em uma rede de *blockchain*.

[Mendonça et al. 2020] trabalharam com a rastreabilidade da cadeia produtiva do leite, o trabalho tinha como objetivo desenvolver uma arquitetura para rastrear a cadeia produtiva do leite usando a *blockchain* para armazenar e validar os dados coletados nos diversos pontos de controle do produto.

3. Metodologia

Para caracterizar esse trabalho, utilizamos uma pesquisa aplicada com o intuito de gerar conhecimento através da identificação de uma determinada problemática (rastreadabilidade de produtos amazônicos) e buscar possíveis soluções (uma aplicação juntamente com a camada de segurança). Como forma de apresentar os procedimentos metodológicos inerentes a essa pesquisa, elaboramos uma figura (Figura 1) que lista todas as atividades executadas, desde a visita de campo no local da produção do cumarú até as simulações com a plataforma *remix ethereum*. Abaixo podemos visualizar os procedimentos metodológicos desse trabalho:

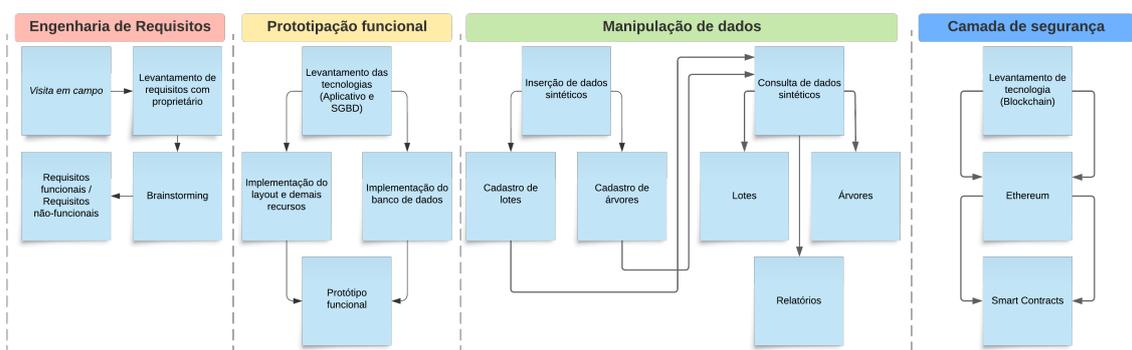


Figura 1. Metodologia proposta

Analisando a Figura 1, podemos observar que os procedimentos metodológicos são divididos em fases. Na primeira fase é realizada a Engenharia de Requisitos, onde realizamos uma visita de campo junto ao Produtor Rural que possui uma plantação do cumarú. Nessa visita tivemos um momento de diálogo para apresentação formal do projeto e realizamos entrevista com o produtor para obter informações (Levantamento de requisitos), surgiram inúmeras ideias (*Brainstorming*) para o mapeamento das funcionalidades, onde pudemos realizar a listagem dos requisitos funcionais e não-funcionais do aplicativo.

Na fase inicial da concepção do protótipo funcional, foram escolhidas as tecnologias que seriam utilizadas no projeto. Para o desenvolvimento da estrutura de *Front-end* do aplicativo, utilizamos o *Flutter*, que se trata de um *framework* de código aberto da empresa Google que é utilizado para a criação de aplicativos multiplataforma [Flutter 2023]. Para a implementação do banco de dados, utilizamos nessa etapa de desenvolvimento do protótipo funcional o *SQLite* [SQLite 2023], que se trata de um mecanismo de banco de dados SQL pequeno, rápido, independente, de alta confiabilidade. A utilização do *SQLite* se dá pela peculiaridade da região amazônica que não dispõe de uma infraestrutura de internet adequada para lançamento dos dados na nuvem, para isso as informações serão armazenadas primeiramente de forma local e posteriormente, ao se ter sinal de internet, esses dados serão sincronizados com a nuvem. Para a concepção do projeto em sua versão estável, iremos utilizar um SGBD mais robusto para armazenamento em nuvem. Na etapa de manipulação de dados ocorreram as atividades de inserção de dados, cadastros de lotes, cadastro de árvores, consulta de dados e elaboração de relatórios. É importante ressaltar que utilizamos dados sintéticos, pois os dados da produção do cumarú só estarão disponíveis em 2024, quando será feita a primeira colheita dos frutos.

4. Rastreabilidade e arquitetura proposta

4.1. Descrição do sistema de rastreabilidade

O sistema de rastreabilidade desenvolvido durante essa pesquisa, contemplou os seguintes aspectos:

- **Rastreabilidade:** o consumidor consultará através de um QRcode na embalagem do produto informações sobre sua origem;
- **Armazenamento e disponibilidade dos dados:** O sistema deverá armazenar as principais informações que envolve todas as fases da produção do cumarú;
- **Auditabilidade:** as informações armazenadas da produção de cumarú no sistema não poderão ser alteradas, pois serão armazenados na *blockchain*;
- **Segurança:** Todos os dados serão protegidos por criptografia. Usuários necessitam de cadastro para acesso ao sistema.

4.2. Arquitetura

A arquitetura proposta foi dividida em dois domínios, sendo o primeiro representado pelo aplicativo *mobile* e o sistema de armazenamento e o segundo representado pela tecnologia *blockchain*. No primeiro domínio serão realizadas as atividades de processamento e armazenamento de dados de toda a cadeia produtiva do cumarú. No segundo domínio será implementada uma camada de segurança para os dados baseado em *blockchain*. A

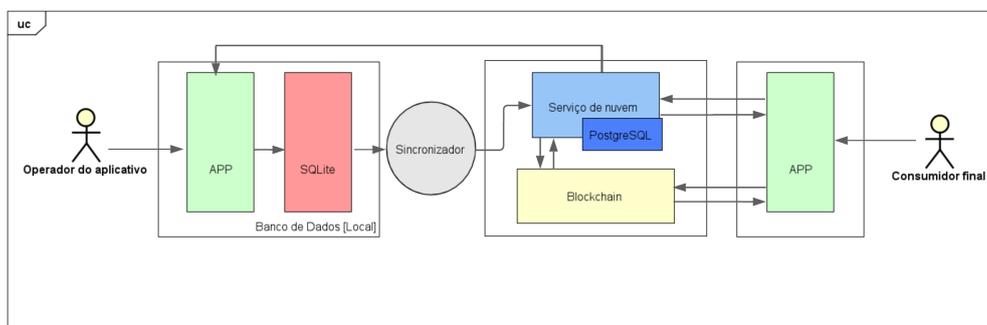


Figura 2. Arquitetura proposta (Adaptada de [Tejos et al. 2022]).

Figura 2 apresenta a arquitetura proposta nesse trabalho, mostrando a ação do operador do aplicativo, que irá lançar os dados de extração do cumarú primeiramente em um banco de dados local, devido a localidade onde o terreno se encontra ser bem remota e não possuir conectividade. Assim, se fazendo necessário um mecanismo de sincronização para que, ao menor sinal de conectividade, os dados serem enviados tanto para a nuvem, que utiliza o sistemas gerenciador de banco de dados (SGBD) *PostgreSQL* quanto para a *blockchain*. Por fim, o consumidor final do produto, que pode ser tanto um cliente quanto um comerciante terão seu aplicativo de cliente para consultar a procedência do produto.

4.2.1. Telas do aplicativo

O aplicativo que está sendo desenvolvido nesse projeto possui atualmente seis telas. Logo abaixo, apresentamos algumas das telas do protótipo funcional:

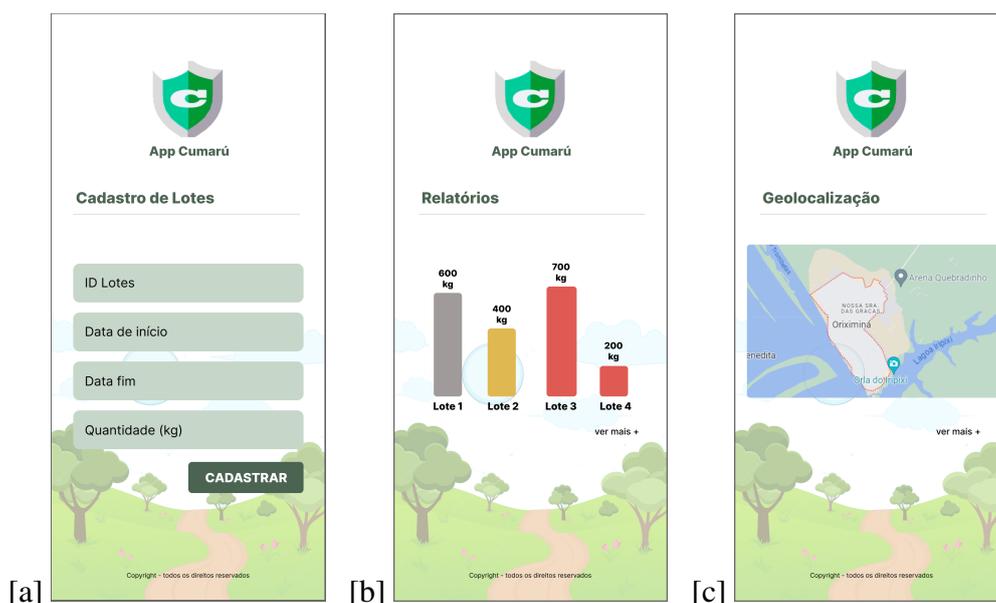


Figura 3. Telas do aplicativo.

Podemos visualizar na Figura 3(a) a tela de cadastro de árvores, na Figura 3(b) temos a tela de relatórios e, por fim, na Figura 3(c), temos a tela de geolocalização onde as mudas do cumarú são plantadas e os frutos são colhidos. Abaixo temos a listagem com as principais funcionalidades do aplicativo desenvolvido:

- **Tela inicial:** interface de login e senha de usuário;
- **Cadastro de árvores:** são mostradas as informações de cada árvore que produz cumarú na comunidade;
- **Cadastro de lotes:** são mostradas informações do lote da produção de cumarú como: Id, datas, Quantidade e QR-Code;
- **Relatórios:** são mostrados os gráficos de produção do cumarú, apresentando a quantidade de quilos coletados por cada lote ou árvore;
- **Geolocalização:** mostra o mapa com as coordenadas geográficas da Comunidade onde está sendo produzido o cumarú.

4.2.2. Blockchain

A tecnologia *blockchain* pode ser definida como um livro-razão distribuído imutável e compartilhado, distribuído por milhares de sistemas de computador [Kushwaha et al. 2022]. Inicialmente, a principal utilização do *blockchain* era voltado para prover a segurança de criptomoedas [Wright 2008, Nakamoto 2008], entretanto, ao longo do tempo suas características foram bem adaptadas para auxiliar na solução de outras problemáticas que pudessem utilizar o conceito do protocolo peer-to-peer. Uma das áreas que tem sido contemplada com o *blockchain* é a área da logística, que tem utilizado essa tecnologia para promover a segurança de dados e rastreabilidade de produtos. Outra aplicação bastante interessante é transformar contratos que, outrora, eram assinados de forma manual, agora são assinados digitalmente através do uso de contratos inteligentes (*smart contracts*). Existem várias plataformas que trabalham com contratos intelligen-

tes utilizando *blockchain* tais como: Ethereum, Solana SOL, Avalanche AVAX, Fantom FTM, entre outras.

Após a verificação das plataformas existentes, visando contemplar o segundo domínio desse projeto, foi escolhido a plataforma *Ethereum* que é atualmente a plataforma de desenvolvimento mais popular para contratos inteligentes e pode ser usada para projetar vários tipos de aplicativos descentralizados (DApps) [Khan et al. 2021].

4.2.3. Contratos inteligentes

Para executar os códigos escritos em *solidity* [Etherscan.io 2023], utilizamos a ferramenta *web-based Remix* da *Ethereum* [Ethereum 2020], que utiliza uma máquina virtual chamada de *Ethereum Virtual Machine* que processa os contratos de forma segura, armazenando-os em cadeias de blocos, realizando as transações utilizando hashes criptográficos e funções matemáticas que tornam praticamente impossível reverter tal operação [SILVA et al. 2019].

Foram realizadas simulações na ferramenta *Remix* para testar o modelo de *smart contract* que foi elaborado pela equipe desse trabalho. Logo abaixo, temos algumas telas capturadas da execução dos *smarts contracts*:

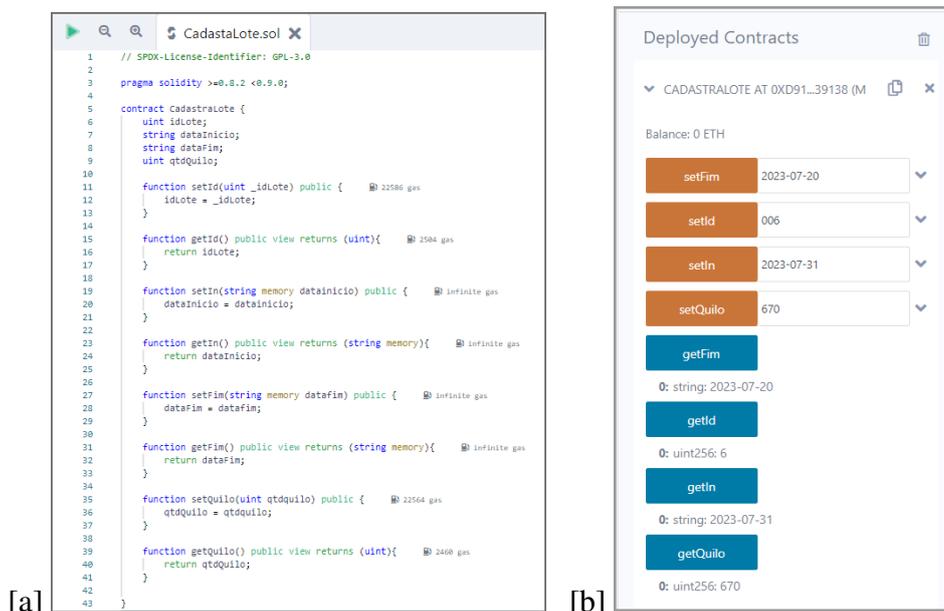


Figura 4. a) *Smart Contract*; b) *deploy do smart contract CadastraLote.sol*.

Na Figura 4 a) podemos observar o código escrito em *solidity* que posteriormente foi compilado para que pudesse ser feito o *deploy*. Nomeamos o contrato de *CadastraLotes* que possui o mesmo nome do arquivo, *CadastraLotes.sol*. Dentro do escopo do contrato utilizamos os métodos *getters and setters* para setar e retornar os valores inerentes ao cadastro dos lotes de extração do cumarú. Já na Figura 4 b), após realizado o *deploy*, pudemos então executar os métodos contidos no *smart contract*. Em relação a Figura 5 (logo abaixo), é apresentada a saída do console do *Remix Ethereum* mostrando cada método sendo executado e realizando a adição de dados do contrato na *blockchain*.

```
✓ [vm] from: 0x5B3...eddC4 to: Cadastralote.setFim(string) 0xd91...39138 value: 0 wei data: 0xa2a...0000 logs: 0 hash: 0x583...ddb0
transact to Cadastralote.setId pending ...
✓ [vm] from: 0x5B3...eddC4 to: Cadastralote.setId(uint256) 0xd91...39138 value: 0 wei data: 0xd0e...0000 logs: 0 hash: 0x802...de616
transact to Cadastralote.setIn pending ...
✓ [vm] from: 0x5B3...eddC4 to: Cadastralote.setIn(string) 0xd91...39138 value: 0 wei data: 0x144...0000 logs: 0 hash: 0xdf2...98898
transact to Cadastralote.setQuilo pending ...
✓ [vm] from: 0x5B3...eddC4 to: Cadastralote.setQuilo(uint256) 0xd91...39138 value: 0 wei data: 0xc92...0029e logs: 0 hash: 0x792...b00a4
call to Cadastralote.getFim

CALL [call] from: 0x5B380a6a701c568545dcfc803fc8875f56beddC4 to: Cadastralote.getFim() data: 0x590...3f4a3
call to Cadastralote.getId
CALL [call] from: 0x5B380a6a701c568545dcfc803fc8875f56beddC4 to: Cadastralote.getId() data: 0x5d1...ca631
call to Cadastralote.getIn
CALL [call] from: 0x5B380a6a701c568545dcfc803fc8875f56beddC4 to: Cadastralote.getIn() data: 0x90a...6f5a9
call to Cadastralote.getQuilo
CALL [call] from: 0x5B380a6a701c568545dcfc803fc8875f56beddC4 to: Cadastralote.getQuilo() data: 0x58b...327a0
```

Figura 5. Saída do console do *Remix Ethereum*

É importante enfatizar que, muitas vezes, a coleta dos frutos do Cumarú duram uma semana inteira, se fazendo necessário um controle e organização nesse processo, pois a área de coleta é imensa.

5. Considerações Finais

Neste trabalho foi apresentado uma proposta de uma arquitetura que envolve dois domínios: a concepção de uma ferramenta computacional (aplicativo *mobile*) que será utilizado na rastreabilidade da cadeia produtiva do cumarú e a utilização da tecnologia *blockchain* como camada de segurança dos dados gerados. Esse projeto está sendo realizado em parceria com a Empresa A3M, UFOPA - Campus Oriximiná e Moradores da Comunidade Rural do Salgado, na zona rural do município de Oriximiná. Visamos nesse projeto, agregar valor na produção do cumarú no pós-venda, uma vez que oferecerá ao consumidor final um produto confiável, oriundo de uma propriedade com procedência. A rastreabilidade do cumarú possibilitará: transparência da cadeia produtiva, segurança das informações, e uma melhor conexão com consumidor final que saberá todo o processo de produção do cumarú (desde a fase de coleta até o consumo do produto). Realizamos a criação do modelo de *smart contract* e simulamos a operação dele na ferramenta *web-based Remix Ethereum* e visualizamos o próximo passo desse projeto sendo como a integração propriamente dita do aplicativo com a *blockchain* já em ambiente de produção.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante abordar conceitos e aplicações técnicas de Redes sem fio, Redes de Sensores sem fio, inteligência artificial e outras abordagens para fortalecer a segurança computacional dentro da arquitetura proposta. Com isso, criar um arcabouço que possa prover uma arquitetura robusta com base em resultados satisfatórios, através da realização de experimentos e pela busca de modelos para otimizar o processamento dos dados na borda e na nevoa (*Edge e Fog computing*) respectivamente. Esse artigo faz parte de um projeto macro que está em andamento que visa construir uma arquitetura genérica para que futuramente os produtores da região amazônica possam receber a consultoria da equipe desenvolvedora do projeto e poder comercializar seu produto lançando mão das possibilidades oferecidas pelas tecnologias da informação e comunicação que contemplam o escopo da agricultura e Amazônia 4.0.

Agradecimentos

Essa pesquisa recebeu apoio logístico e auxílio financeiro da Universidade Federal do Oeste do Pará - Campus Oriximiná Prof. Dr. Domingos Diniz.

Referências

- Amato, G. (2021). Rastreabilidade na cadeia do biodiesel com uso de tecnologia de blockchain. Master's thesis, Fundação Getulio Vargas, Escola de Economia de São Paulo, São Paulo.
- Conchon, F. and Lopes, M. (2012). Rastreabilidade e segurança alimentar. [ONLINE] <https://tinyurl.com/mwk56tt8>. Acessado em: 26 mai. 2023.
- Ethereum, A. (2020). Solidity documentation.
- Etherscan.io (2023). The ethereum blockchain explorer. [ONLINE] <https://etherscan.io/>. Acessado em: 30 jul 2023.
- Flutter (2023). Flutter build apps for any screen. [ONLINE] <https://flutter.dev>. Acessado em: 24 jun 2023.
- Khan, S. N., Loukil, F., Ghedira-Guegan, C., Benkhelifa, E., and Bani-Hani, A. (2021). Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 14(5):2901–2925.
- Kushwaha, S. S., Joshi, S., Singh, D., Kaur, M., and Lee, H.-N. (2022). Systematic review of security vulnerabilities in ethereum blockchain smart contract. *IEEE Access*, 10:6605–6621.
- Mendonça, R., Gomes, O., Pereira, P., Vieira, A., and Nacif, J. (2020). Utilização de blockchain na rastreabilidade da cadeia produtiva do leite. In *Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações*, pages 55–60, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. [ONLINE] <https://tinyurl.com/yc7eskdu>. Acessado em: 25 jun 2023.
- Nobre, T. and Nobre, C. (2019). *Definindo uma Terceira Via para a Amazônia*. Number 2. Futuribles, Paris.
- ONU (2019). World population prospects 2019: Highlights. [ONLINE] <https://tinyurl.com/54e4brbk>. Acessado em: 23 jun 2023.
- SILVA, F. G. C. E., SILVA, F. C. D., CASTRO, A. D., and YANO, I. H. (2019). Avaliação da técnica de blockchain na rastreabilidade na agroindústria a sucoenergética. In *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. ENEGEP 2019 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção.
- SQLite (2023). Sqlite. [ONLINE] <https://www.sqlite.org>. Acessado em: 24 jun 2023.
- Tejos, R. G., Carvalho, T. C., Júnior, M. S., Santos, B., and Nobre, I. (2022). Blockchain aplicado à rastreabilidade da cadeia produtiva do cacau da amazônia. In *Anais do XXII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais*, pages 43–56, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Wang, S., Li, D., Zhang, Y., and Chen, J. (2019). Smart contract-based product traceability system in the supply chain scenario. *IEEE Access*, 7:115122–115133.
- Wright, C. S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *SSRN Electronic Journal*.