



Uma Solução Baseada em Blockchain para Assegurar a Qualidade Produtiva da Cafeicultura Brasileira

Laís Dib Albuquerque, Arthur Lucas S. Bezerra, Fábio S. Silva, Elloá B. Guedes

¹Escola Superior de Tecnologia
Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
Av. Darcy Vargas, 1200 – Manaus – Amazonas
{lda.snf20, aldsb.snf20, fssilva, ebgcosta}@uea.edu.br

Abstract. *The Brazilian coffee farming stands as one of the most relevant agricultural activities in the country, making a significant contribution to the Gross Domestic Product and earning Brazil international recognition as one of the leading coffee suppliers worldwide. Thus, this article introduces a prototype solution based on Blockchain and Deep Learning, developed to assess the coffee plant's leaf health, ensuring the fruit's quality on a global scale. The proposal is grounded in the concepts of data immutability and security provided by the mentioned Blockchain technology, as well as the growing popularity of Decentralized Applications.*

Resumo. *A cafeicultura brasileira é uma das atividades agrícolas mais relevantes do país, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto e levando o Brasil a reconhecimento internacional como um dos principais fornecedores de café no mundo. Tendo isto em mente, este artigo apresenta um protótipo de solução baseado em Blockchain e Deep Learning desenvolvido para avaliar a saúde das folhas do cafeeiro, garantindo a qualidade do fruto em escala global. A proposta é fundamentada nos conceitos de imutabilidade e segurança dos dados fornecidos pela Cadeia de Blocos mencionada, bem como na crescente popularidade das Aplicações Descentralizadas.*

1. Introdução

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o Brasil é o terceiro maior produtor de alimentos do planeta, constituindo-se estrategicamente também como um celeiro mundial deste meio [ONU 2022]. A agricultura brasileira é amplamente reconhecida por sua notável competitividade e capacidade de gerar empregos, além de desempenhar um papel fundamental na produção de riquezas e alimentos, tanto em âmbito local como global. Sendo um dos setores de maior destaque, sua contribuição é significativa para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) nacional [EMBRAPA 2020]. Além dos elementos naturais favoráveis, como extensão territorial e clima, é importante mencionar o papel

crucial do investimento contínuo em tecnologia e pesquisa como fatores determinantes para este protagonismo [Guaraldo and Reynol 2022].

O café, em particular, é uma importante *commodity* agrícola do Brasil, ocupando o quinto lugar na pauta das exportações. No ano de 2021, o país ocupou a liderança mundial no mercado internacional, com 32 % de participação, equivalente a cerca de 3,4 mi t produzidas [Guaraldo and Reynol 2022]. A alta qualidade e diversidade das safras brasileiras fazem do Brasil um fornecedor confiável e capaz de atender às necessidades dos compradores mais exigentes nos mercados local e internacional. Ademais, a cafeicultura brasileira é reconhecida como uma das mais atentas às questões sociais e ambientais no mundo, havendo uma preocupação em garantir a produção de um café sustentável [MAPA 2021].

No contexto da produção de café de qualidade, um conjunto complexo de fatores deve ser cuidadosamente considerado, controlado e monitorado. Dentre estes, destacam-se a temperatura, o adensamento do solo, o regime de chuvas, a incidência de ventos, a umidade, bem como a presença de pragas e patologias. No tocante aos dois últimos itens mencionados, ressalta-se a importância de um diagnóstico preciso e precoce, com vistas a auxiliar na tomada de decisão eficaz e eficiente que minimize os impactos ambientais e econômicos, já que a incidência de fungos, bactérias, nematoides e vírus podem reduzir a produção em até 20 % [de Mesquita et al. 2016].

Em face da problemática mencionada, a Agricultura Digital pode colaborar de maneira expressiva, pois se caracteriza pelo uso e desenvolvimento de soluções tecnológicas relacionadas à área da Informática visando melhorar a produção agrícola, obtendo mais qualidade e produtividade [Tang et al. 2002]. No cenário brasileiro, em especial, há um horizonte estratégico até 2034 com foco na incorporação de soluções dessa natureza sob a forma aplicações e plataformas digitais para agregar valor aos produtos e serviços agrícolas [Embrapa 2014]. Uma das soluções tecnológicas especialmente alinhada com esta estratégia e tendo crescente participação na Agricultura Digital são as *Blockchains*, as quais atuam como um livro de registros, descentralizado e imutável, que facilita o processo de armazenamento de dados e rastreamento de ativos, onde os mesmos são salvos em blocos conectados entre si por meio de criptografia, o que proporciona mais confiança e segurança para aqueles que a utilizam para guardar informações, uma vez que a imutabilidade dos dados é garantida por *hashes* gerados a partir do conteúdo pertencentes a cada bloco [Huang et al. 2021, IBM 2023a].

Com o intuito de contribuir para o corpo de soluções inteligentes para Agricultura Digital brasileira com vistas a assegurar o controle de qualidade do café produzido no Brasil, este artigo apresenta um protótipo de aplicação que se utiliza da tecnologia *Blockchain* para o armazenamento seguro, imutável e descentralizado de dados relacionados às safras de café. Os aspectos de qualidade da produção são aferidos por meio da classificação automática das imagens das folhas do cafeeiro por um modelo de *Deep Learning* capaz de distinguir instâncias saudáveis ou acometidas por diferentes patologias. Assim, o protótipo proposto constitui-se como uma plataforma que viabiliza a transparência da produção de café a partir da construção de um histórico confiável de qualidade.

Para apresentar o que se propõe, o presente artigo está organizado como segue. Os trabalhos relacionados são apresentados na Seção 2, que contempla detalhamentos de aplicações de *Blockchain* na Agricultura. Em seguida, a Seção 3 apresenta uma visão geral da solução proposta em termos do seu delineamento técnico e tecnológico. A validação

e a viabilidade da solução proposta são dadas em termos de um protótipo, o qual é apresentado como resultado proposto, detalhado na Seção 4. Por fim, considerações finais e trabalhos futuros encontram-se dispostos na Seção 5.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura, existem pesquisas que reportam o benefício da tecnologia *Blockchain* para a agricultura, como o trabalho de Papa [2017], que mostra a grande necessidade que este setor demanda de informações que apoiem a rastreabilidade e a transmissão de dados transparentes, considerando a *Blockchain* como solução para agregar todos esses pontos à uma agricultura confiável, já que a tecnologia é pública, anônima e infalsificável. O artigo de Kamilaris et al. [2019] segue a mesma proposta, demonstrando que tal tecnologia já está sendo usada por muitos projetos e iniciativas com o objetivo de estabelecer um ambiente comprovado e confiável para construir uma produção e distribuição de alimentos transparente e mais sustentável.

Resultados do uso da *Blockchain* associada à Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) visando a transparência na cadeia produtiva do café foram retratados no trabalho de Neto et al. [2021]. Nele, é apresentado um estudo acerca de projetos reais que utilizam desses conceitos para coleta de dados relacionados à cafeicultura, apresentando suas características e funcionamento e apontando como esses projetos poderiam, dentro de uma arquitetura envolvendo *Blockchain*, garantir a certificação do café, indicadores de sustentabilidade e autenticidade do produto.

Aplicações comerciais com o mesmo intuito já estão disponíveis no mercado. Mencionada na matéria publicada no site da IBM, *Managing the complexity of coffee through the clarity of blockchain*, a IBM utiliza da sua própria *Blockchain* para trazer transparência a uma cadeia de fornecimento de café no Reino Unido juntamente à empresa farmer connect, responsável por agregar confiabilidade às cadeias de suprimentos, mostrando visualmente como as mercadorias viajam da origem ao consumidor, bem como os pagamentos das entidades de volta à origem, através da plataforma ThankMyFarmer [Reguera 2020, farmer connect 2021, ThankMyFarmer 2023]. Outra uso da IBM *Blockchain* é o programa The Blockchain Bean, encarregado de rastrear a comercialização de café etíope Yirgacheffe distribuído pela empresa Brooklyn Roasting Company [IBM 2017, Company 2023].

Embora sejam expostas aplicações que utilizam de *Blockchain* para promover transparência à cadeia produtiva do café, nenhuma das soluções encontradas abordam a cafeicultura brasileira em especial, bem como o uso de técnicas de *Deep Learning* para assegurar qualidade ao produto final de interesse. Considerando os anos de vida útil do cafeeiro e as fases de cultivo à colheita, ao utilizar *Blockchain* em conjunto ao Aprendizado de Máquina Profundo para registrar informações sobre a saúde do café desde o semeio, é possível mapear antecedentes relacionados ao grão, tornando transparente o compartilhamento de informações da produção relacionadas à qualidade salvas imutavelmente na rede, permitindo garantir também a autenticidade e confiabilidade em relação a cada lote produzido.

3. Solução Proposta

Guiado pelo uso da *Blockchain* em aplicações na agricultura e na popularização de Aplicações Descentralizadas (DApp, do inglês *Decentralized Application*), um protótipo

foi pensado, projetado e desenvolvido com o objetivo de promover transparência à cafeicultura brasileira, trazendo autenticidade, confiabilidade e garantia de qualidade às sacas de café comercializadas, tendo em vista seu tamanho impacto na economia nacional.

A representação abstrata exposta na Figura 1 ilustra a cadeia utilizada pela aplicação, tendo seu início marcado pelo Bloco Gênese, responsável por armazenar o horário de criação dela no primeiro bloco da cadeia (índice 0). Os blocos componentes da rede, tais como os blocos 1 e 2 delineados na Figura 1, desempenham um papel fundamental ao armazenar de forma segura e imutável os dados relativos à qualidade do café. Esses blocos contêm um conjunto de atributos essenciais, que incluem: (i) Índice do bloco, representando sua posição na cadeia; (ii) *Timestamp*, indicando seu horário de criação; (iii) Identificador da planta sob avaliação; (iv) Imagem da folha do cafeeiro para classificação; (v) Distribuição de probabilidades do classificador; (vi) *Hash* do bloco anterior para conexão entre os blocos da rede; (vii) *Nonce*; e (viii) *Hash* do bloco atual.

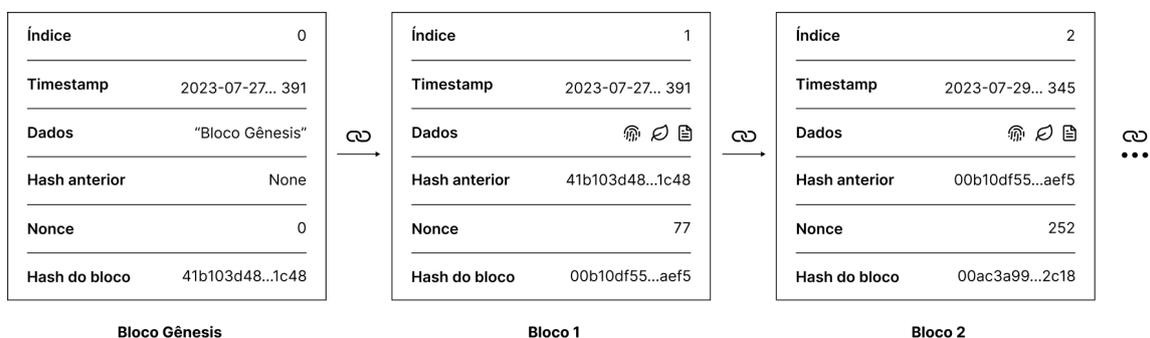


Figura 1: Representação da *Blockchain* utilizada na solução proposta.

Um atributo comum a todos os blocos é o *Nonce*, representado por um valor inteiro que indica o número de tentativas necessárias para geração de um *hash* válido, obedecendo à dificuldade definida para a *Blockchain*. Dado o contexto da aplicação proposta, essa dificuldade, também representada por um inteiro, estabelece a quantidade de zeros exigida no início do *hash* para cada bloco ser considerado válido e aceito na cadeia, atestando, assim, a integridade geral da rede. Como o Bloco Gênese é o primeiro componente, não é aplicada a ele a regra da dificuldade para cálculo do *hash*.

A qualidade do cafeeiro é aferida por um classificador inteligente baseado em Visão Computacional e *Deep Learning* disponível publicamente na literatura. O mesmo recebe como entrada uma imagem das folhas do respectivo cafeeiro e produz como saída uma distribuição de probabilidades da amostra fornecida ser saudável ou estar acometida por quatro distúrbios foliares que acometem as safras de café brasileiras, a citar: cercosporose, ferrugem, bicho mineiro ou phoma. O classificador em questão é uma Rede Neural Convolutiva Profunda (CNN, do inglês *Convolutional Neural Networks*) com arquitetura ShuffleNet (1,37 mi de parâmetros, 50 camadas) elaborada e avaliada a partir de um cenário experimental realístico com uma base de dados contendo aproximadamente 58 mil exemplos, em que se registrou acurácia média de 99,88% [Albuquerque and Guedes 2023].

4. Protótipo da Solução

Como resultado do desenvolvimento deste trabalho, tem-se um protótipo de uma plataforma web intitulada *Coffee Break*. A arquitetura geral da DApp, ilustrada na Figura 3, foi



Figura 2: Exemplos visuais das classes identificadas pelo Classificador Inteligente.
Fonte: [Albuquerque and Guedes 2023].

modelada utilizando as camadas de Contexto e Contêiner do modelo C4 [C4 2023]. Na primeira camada, é demonstrada a interação da ferramenta proposta com o público alvo representado pelo cafeicultor. A referida figura também explicita as principais unidades executáveis do software ao adentrar na Camada 2.

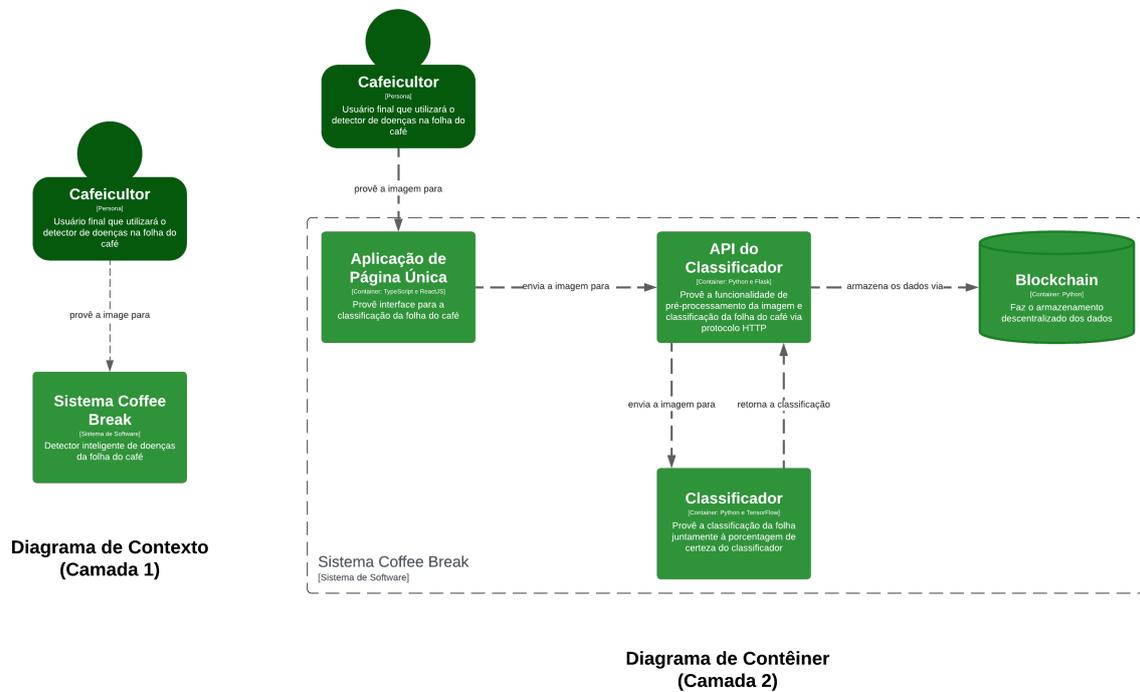


Figura 3: Diagramas do modelo C4 expondo a arquitetura da aplicação.

A comunicação inicia-se com o cafeicultor enviando um identificador e uma imagem da folha de café por meio de uma Aplicação de Página Única (SPA, do inglês *Single Page Application*) desenvolvida com a biblioteca de construção de interfaces React na linguagem TypeScript. A imagem é codificada para o formato *base64* e enviada juntamente ao identificador via requisição HTTP (do inglês *HyperText Transfer Protocol*) do tipo POST para a API (do inglês *Application Programming Interface*) do Classificador. Concebida em Flask, *framework* de desenvolvimento de APIs na linguagem Python, possui uma única rota, nomeada de `"/classifier"`, e é responsável por receber os dados vindos da página web, pré-processar a figura para adequá-la às especificações de entrada do Classificador, colher o resultado e fazer o armazenamento seguro dos dados na Blockchain.

Efetuada a classificação, o resultado é devolvido para a API do Classificador e, por

consequente, iniciado o processo de armazenamento das informações na cadeia. Primeiramente, estes são atribuídos a um novo bloco, no entanto, diferentemente do que ocorre no Bloco Gênesis, nos subsequentes é necessário a aplicação do mecanismo de consenso chamado de Prova de Trabalho (PoW, do inglês *Proof of Work*), responsável por calcular um *hash* válido para o bloco de acordo com seus dados e condizente com a dificuldade da rede, trabalho normalmente conhecido como Mineração.

Após a adição dos dados no bloco válido, a API do Classificador retorna a distribuição de probabilidades entre as classes possíveis como resposta da requisição. Na SPA, os dados são renderizados acompanhados da imagem submetida anteriormente. É importante destacar que a figura apresentada é a mesma armazenada localmente em tempo de execução, persistindo apenas durante a sessão ativa na página, sendo posteriormente descartada, o que ocorre de mesma forma no *back-end* quando a classificação é retornada. A Figura 4 demonstra o fluxo de telas da ferramenta desenvolvida.



Figura 4: Fluxo de telas da ferramenta.

Dito isto, a plataforma oferece vantagens substanciais que a tornam uma solução viável e promissora, validada mediante código aberto e gratuito disponível no repositório <https://github.com/laisdib/coffee-break>, o que facilita seu acesso, colaboração da comunidade, aumenta a interoperabilidade, bem como a mitiga eventuais barreiras de entrada. Tais pontos ressaltam a facilidade de implantação da ferramenta, tornando-a prontamente disponível para o público-alvo considerando, dispendo de uma interface gráfica que prioriza a experiência do usuário, simplificando o uso e ocultando detalhes técnicos complexos. Em conjunto, essas vantagens tornam a aplicação uma opção atrativa e abrangente, contribuindo significativamente para o avanço da Agricultura Digital e estimulando o desenvolvimento de soluções tecnológicas de alto impacto, em especial, na cafeicultura brasileira.

5. Considerações Finais

Este trabalho apresenta um protótipo de aplicação que permite o compartilhamento transparente de informações a respeito da saúde do café em seu ciclo de vida, visando assegurar qualidade ao produto comercializado e aos produtores responsáveis pelo cultivo. A abordagem utiliza da tecnologia *Blockchain* para o armazenamento seguro, imutável e

descentralizado dos dados, em conjunto a um Classificador Inteligente baseado em Visão Computacional e *Deep Learning* de doenças que acometem a folha do cafeeiro, permitindo o monitoramento da safra por parte dos agricultores de forma acessível e amigável.

Em trabalhos futuros, almeja-se adaptar a aplicação para o cenário real, onde a Plataforma de *Blockchain* Ethereum [Ethereum 2023] armazenará o resultado da classificação obtida juntamente ao identificador do cafeeiro. Ao invés de manter a imagem oferecida ao classificador em formato *base64*, será salvo o *hash* referente à localização da mesma no serviço de armazenamento descentralizado de arquivos *InterPlanetary File System* (IPFS) [IPFS 2023].

Objetiva-se também a criação de um *Smart Contract* [IBM 2023b] na linguagem Solidity para viabilizar o armazenamento e a recuperação dos dados salvos na rede, bem como a adição de um método que permita a consulta das informações de forma intuitiva. Para integração completa da solução, pretende-se ajustar o *front-end* já desenvolvido para conexão com a plataforma de armazenamento dos dados escolhida, de modo que seja possível por ele a invocação dos métodos presentes no Contrato Inteligente, bem como a responsividade do mesmo para funcionamento adaptável a diferentes tamanhos de tela, visando abranger diversos cenários para uso da ferramenta proposta.

Agradecimentos

LDA e EBG agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) fornecido por meio do programa PAIC/UEA (2021/2022 e 2022/2023, respectivamente). ALSB agradece o apoio do Ludus Lab; LDA, FSS e EBG agradecem o apoio do Laboratório de Sistemas Inteligentes (LSI), ambos da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas.

Referências

- Albuquerque, L. and Guedes, E. (2023). Um Comparativo de Abordagens com Redes Neurais Artificiais para Detecção Inteligente de Patologias na Folha do Café. In *Anais do XIV Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais*, pages 131–140, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- C4 (2023). The C4 model for visualising software architecture. Disponível em: <https://c4model.com/>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- Company, B. R. (2023). Brooklyn roasting company. Disponível em: <https://brooklynroasting.com/about/>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- de Mesquita, C. M., de Rezende, J. E., Carvalho, J. S., Júnior, M. A. F., Moraes, N. C., Dias, P. T., de Carvalho, R. M., and de Araújo, W. G. (2016). *MANUAL DO CAFÉ – DISTÚRBIOS FISIOLÓGICOS, PRAGAS E DOENÇAS DO CAFEIEIRO*. EMATER, Belo Horizonte, 1 edition.
- Embrapa (2014). *Visão 2014–2034 – O Futuro do Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira (Síntese)*. Embrapa, Distrito Federal, Brasil.
- EMBRAPA (2020). VII Plano Diretor da Embrapa 2020-2030. Embrapa Unidades Centrais (AI-SEDE). Disponível em: <https://shre.ink/plano-diretor>. Acesso em 29 de setembro de 2023.

- Ethereum (2023). Bem-vindo ao Ethereum. Disponível em: <https://ethereum.org/pt-br/>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- farmer connect (2021). Desbloqueando valor ao longo das cadeias de suprimentos globais. Disponível em: <https://www.farmerconnect.com/pt/>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- Guaraldo, M. C. and Reynol, F. (2022). Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos. EMBRAPA. Disponível em: <https://shre.ink/embrapa-prod-mundial>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- Huang, H., Kong, W., Zhou, S., Zheng, Z., and Guo, S. (2021). A survey of state-of-the-art on blockchains: Theories, modelings, and tools. *ACM Comput. Surv.*, 54(2).
- IBM (2017). The blockchain bean. Disponível em: <https://shre.ink/the-blockchain-bean>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- IBM (2023a). O que é a tecnologia blockchain? Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/blockchain>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- IBM (2023b). What are smart contracts on blockchain? Disponível em: <https://www.ibm.com/topics/smart-contracts>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- IPFS (2023). IPFS powers the Distributed web. Disponível em: <https://ipfs.tech>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- Kamilaris, A., Fonts, A., and Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91:640–652.
- MAPA (2021). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Panorama do Agonegócio Brasileiro, café no Brasil e Ementário do Café. Disponível em <https://shre.ink/mapa-agro-brasil>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- Neto, A. C., Trevelin, A. T. C., and Menezes, M. T. (2021). Uso da tecnologia blockchain of things aplicada na cadeia produtiva do café. In *Anais do Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação*, Juazeiro do Norte, CE. URCA.
- ONU (2022). *Organização para a Alimentação e Agricultura FAO – Statistical Yearbook – World Food and Agriculture*. FAO, Rome, Italy. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc2211en>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- Papa, S. F. (2017). Use of blockchain technology in agribusiness: Transparency and monitoring in agricultural trade. In *Proceedings of the 2017 International Conference on Management Science and Management Innovation (MSMI 2017)*, pages 38–40. Atlantis Press.
- Reguera, M. (2020). Managing the complexity of coffee through the clarity of blockchain. Disponível em: <https://shre.ink/ibm-blog>. Acesso em 29 de setembro de 2023.
- Tang, S., Zhu, Q., Zhou, X., Liu, S., and Wu, M. (2002). A Conception of Digital Agriculture. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pages 3026–3028, Canada. IEEE.
- ThankMyFarmer (2023). Siga os passos do seu produto preferido. Disponível em: <https://www.thankmyfarmer.com/>. Acesso em 29 de setembro de 2023.