

Aplicando Blockchain Hyperledger Iroha para Rastrear Mel de Abelha

Francisco Ronald Araújo Barbosa¹, Antonio Rafael Braga^{1,2}, Danielo G. Gomes¹

¹Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática
Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza - CE

²Redes de Computadores – Campus Quixadá,
Universidade Federal do Ceará (UFC), Quixadá-CE

{f.ronald, rafaelbraga, danielo}@ufc.br

Abstract. *Product traceability is a growing concern for increasingly demanding consumers regarding the origin and quality of what they are consuming. However, producers have faced challenges associated with the new demands of the consumer market, as traditional tracing and certification processes are often expensive, bureaucratic, and subject to fraud and counterfeiting. In this article, we present a more economical and less bureaucratic solution based on the Hyperledger Iroha Blockchain to reliably track and certify the honey production chain. The proposed solution is composed of smart contracts that record important information about the production process, such as the origin of the honey, production and transportation conditions, among other relevant data, such as harvest date and time, beehive location, honey volume, and logistics data. The results suggest that the adoption of Blockchain technology provides increased integration of the production chain links and transparency in transactions throughout the process, which can lead to greater consumer confidence in the products purchased.*

Resumo. *A rastreabilidade de produtos é uma preocupação crescente para consumidores cada vez mais exigentes no tocante à origem e à qualidade do que estão consumindo. Entretanto, os produtores tem enfrentado desafios associados às novas exigências do mercado consumidor, pois muitas vezes os processos tradicionais de rastreio e certificação são caros, burocráticos e sujeitos a fraudes e falsificações. Neste artigo, apresentamos uma solução mais econômica e menos burocrática, baseada na Blockchain Hyperledger Iroha, para rastrear e certificar de modo confiável a cadeia de produção do mel. A solução proposta é composta por contratos inteligentes que registram informações importantes sobre o processo produtivo, e.g. a origem do mel, as condições de produção e transporte, entre outros dados relevantes, tais como data e hora da colheita, localização das colmeias, volume do mel e dados logísticos. Os resultados obtidos sugerem que a adoção da tecnologia Blockchain confere aumento da integração dos elos da cadeia produtiva e da transparência nas transações em todo o processo, o que pode levar à maior confiança do consumidor nos produtos adquiridos.*

1. Introdução

A apicultura é a ciência, ou arte, da criação de abelhas com ferrão que, ao longo dos anos, vem se mostrando relevante para a geração de renda e emprego por todo Brasil. Predominantemente de base familiar [Leite et al. 2021], a atividade apícola gera receita por meio da comercialização direta para o consumidor final ou em maiores quantidades para as diversas indústrias (alimentícia, farmacêutica, cosmética, etc.).

O Nordeste, que é a segunda maior região em número de estabelecimentos apícolas [Leite et al. 2021], possui a atividade consolidada, contudo enfrenta desafios sociais, econômicos e tecnológicos como dificuldades na integração digital da cadeia produtiva e falhas na transparência quanto a origem dos produtos. Tal cenário pode proporcionar o surgimento de produtos adulterados, colocando em risco o aspecto da segurança alimentar [Brasil. Ministério da Agricultura 2021].

A ausência de um sistema de rastreio que imprima uma maior confiança à cadeia produtiva do mel, possibilitando o monitoramento das etapas que foram realizadas até o envase do alimento, pode permitir que produtos de baixa qualidade ou até mesmo fraudulentos entrem no mercado, prejudicando a reputação da indústria e causando prejuízos para os consumidores. Além disso, a falta de transparência na cadeia de produção também pode impedir a implementação de práticas éticas e sustentáveis, já que não há uma forma de monitorar e garantir que essas técnicas estejam sendo seguidas ao longo do processo.

Por essas razões, é importante estabelecer uma cadeia de custódia que certifique que o mel não foi adulterado após deixar o apiário [Rünzel et al. 2021]. É fundamental que haja um sistema de rastreio eficiente e transparente na cadeia produtiva do mel. O uso da tecnologia *blockchain* pode ser uma solução para garantir a transparência e confiabilidade deste processo. Em particular, aplicativos distribuídos (ou do inglês, *Distributed Applications – DApps*), devem alcançar transparência, integridade, proveniência, rastreabilidade e acessibilidade de informações [Khan et al. 2022].

Assim, a *blockchain* é uma base de dados distribuída que permite armazenar informações de forma segura e imutável [Puthal et al. 2018]. Isso significa que qualquer alteração realizada em um registro já incluído na *blockchain* precisa ser validada por todos os participantes da rede, o que a torna muito difícil de ser falsificada.

Desta forma, a utilização da *blockchain* para rastrear o mel pode permitir o acesso a informações sobre todas as etapas da produção, desde a colheita até a distribuição, de forma clara e transparente. Este recurso pode contribuir para a promoção de melhor qualidade do produto e maior confiança dos consumidores na cadeia produtiva do mel. Além disso, a utilização da *blockchain* pode facilitar a identificação de problemas ou irregularidades na cadeia de produção, permitindo que estes sejam rapidamente resolvidos.

Neste artigo, nosso objetivo foi investigar, a partir da simulação de um sistema conceito, como a tecnologia *blockchain* poderia ser utilizada para garantir a transparência e confiabilidade na cadeia produtiva do mel.

2. Material e Métodos

Este artigo está pautado numa perspectiva qualitativa, cujo objeto de estudo esta alicerçado na implementação de um sistema conceito capaz de realizar o rastreio das

principais etapas do ciclo de produção do mel, que são: colheita, processamento, armazenamento, embalagem e distribuição; bem como promover a integração digital entre os atores desta cadeia produtiva, quais sejam: apicultores, processadores, transportadores, varejistas e consumidores.

2.1. Arquitetura Proposta

Em um sistema de rastreio tradicional, um banco de dados central contendo dados sobre todos os processos deve ser criado [Ehsan et al. 2022]. Nessa abordagem, há algumas desvantagens. A principal delas é que esse tipo de arquitetura é vulnerável a problemas de segurança.

Uma das principais preocupações, ao adotar essa configuração, é a possibilidade de um administrador mal-intencionado alterar os dados armazenados no banco de dados central. Isso pode levar a problemas como a falsificação de dados, a manipulação de informações e a criação de registros fictícios, o que poderia comprometer a confiabilidade e a integridade do sistema de rastreio.

Outra desvantagem é a dependência de um único ponto de falha, no caso, o servidor centralizado. Se esse servidor falhar, o sistema inteiro ficará inoperante, o que pode levar a interrupções no processo de rastreio e causar problemas de continuidade de negócios.

Pensando nisso, buscamos nesta pesquisa encontrar uma solução alternativa para contornar as desvantagens identificadas nos sistemas de rastreio tradicionais, cuja proposta esta exemplificada na Figura 1 que representa a estrutura da arquitetura de rastreabilidade, mostrando a conexão entre as várias etapas necessárias para aumentar a qualidade no processo da cadeia produtiva do mel.

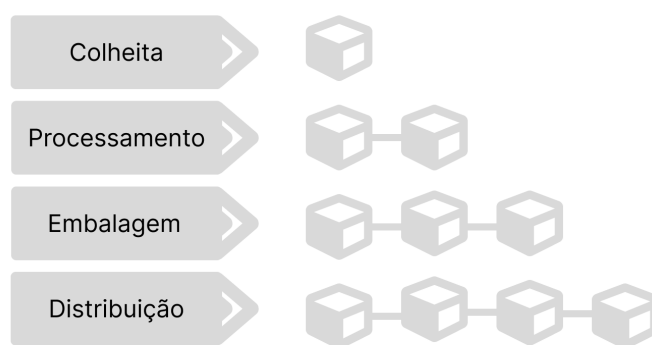


Figura 1. Exemplo da arquitetura conceito tendo como princípio a tecnologia *blockchain*

Nesta arquitetura conceitual, foi utilizado a *Hyperledger Iroha* (versão 2) para implementar o sistema de rastreio. A plataforma ofereceu as características para suporte de contratos inteligentes, gerenciamento de identidade, gerenciamento de ativos digitais,

privacidade, escalabilidade e segurança. Tais itens são necessários para conferir maior confiabilidade ao processo de rastreamento.

2.2. Hyperledger Iroha

A *Hyperledger Iroha* é uma plataforma *blockchain* desenvolvida pela *Soramitsu*¹ e faz parte do projeto *Hyperledger*². Possui um algoritmo de consenso tolerante a falhas bizantinas chamado *Sumeragi* e incorpora um protocolo de encadeamento de detecção de erros [Duan et al. 2014]. Com isso, é capaz de garantir segurança e vivacidade para o processamento de transações entre pares [Muratov et al. 2018] em sistemas descentralizados.

Projetada para ser simples e fácil de usar, esta plataforma dispõe de uma arquitetura modular que permite a personalização, visando a atender às necessidades específicas dos usuários. Outra característica importante é a segurança. *Iroha* oferece uma variedade de mecanismos de segurança, incluindo suporte para assinatura digital e criptografia de chave pública, para garantir a privacidade e a segurança das transações.

2.3. Implementação da cadeia de rastreio

Neste artigo, os experimentos foram conduzidos com o objetivo de avaliar a eficácia da utilização da rede *Hyperledger Iroha* no rastreamento e certificação da produção de mel. Para isso, utilizamos um computador equipado com um processador Intel Core i5-8300H de 8ª geração, 16 GB de memória RAM DDR4, uma placa de vídeo dedicada NVIDIA GeForce GTX 1050 com 4 GB de VRAM gDDR5 e sistema operacional Linux Ubuntu 20.04 LTS (Focal Fossa) como ferramenta de teste.

2.3.1. Configuração da rede

Primeiramente, foi necessário configurar uma rede privada usando a *Hyperledger Iroha*. Isso incluiu o estabelecimento de nós validadores e o desenvolvimento de contratos inteligentes para gerenciar a cadeia de rastreio do mel.

Os nós validadores foram responsáveis por validar e incluir as transações na rede, garantindo a integridade e a confiabilidade dos dados. É importante notar que, em uma rede privada, a seleção dos nós validadores é feita de forma centralizada, assegurando que as partes interessadas tenham confiança nas transações registradas na rede.

Outra etapa importante na configuração da rede foi o desenvolvimento de contratos inteligentes. Como pode ser visto na Figura 2, os contratos inteligentes são programas que rodam na *blockchain* e garantem a automatização de processos e a execução de regras específicas [Christidis and Devetsikiotis 2016]. No caso do rastreamento do mel, os contratos inteligentes foram usados para certificar que a produção de mel cumpria os padrões de qualidade e sustentabilidade estabelecidos. Isso incluiu a verificação de critérios como a origem e as condições de produção do mel.

Em síntese, configurando uma rede privada usando *Hyperledger Iroha 2*, estabelecendo nós validadores e desenvolvendo contratos inteligentes, garantimos maior

¹<https://soramitsu.co.jp>

²<https://www.hyperledger.org>

segurança, privacidade, escalabilidade e eficiência na execução de transações em um ambiente distribuído. Além de possibilitar a automação de processos, esta configuração também promove a eliminação de intermediários desnecessários, contribuindo para a redução de custos e aprimoramento da transparência e da confiança entre os participantes da rede.

```
async registerProducer(producer: Producer): Promise<void> {
  const txBuilder = new TransactionBuilder();

  txBuilder.createAccount({
    accountName: producer.name,
    domainId: this.iroha.domain,
    publicKey: 'public_key'
  });

  const txHash = await this.iroha.sendTransaction(txBuilder.build());

  console.log(`Transaction submitted with hash ${txHash}`);
}
```

Figura 2. Parte de um contrato inteligente utilizado para registrar os produtores de mel na rede

2.3.2. Identidade digital

Essencialmente, se qualquer pessoa puder acessar a rede sem restrições, estamos lidando com uma rede pública ou sem permissão. Já se houver uma lista de permissões, trata-se de uma rede privada ou com permissão limitada. [Christidis and Devetsikiotis 2016].

Neste contexto, para fins desta pesquisa, os usuários da cadeia de rastreio, incluindo apicultores, transportadores, processadores e varejistas, foram registrados na rede para obter as suas identidades digitais (ou seja, endereço único na rede).

Assim, nesta etapa, as identidades digitais foram criadas, usando uma chave pública e uma chave privada. A chave pública foi compartilhada com a rede, enquanto a chave privada foi mantida confidencial pelo proprietário da identidade. Em suma, ao permitir que os usuários assinassem transações e comprovassem sua identidade para outros indivíduos na rede, tornou-se possível promover a segurança e a autenticidade das operações realizadas.

Portanto, o rastreamento propriamente dito está baseado na ideia de que toda transação possui uma prova pública e auditável de autorização para interagir com o sistema, o que garante provas inegáveis de qualquer ação ocorrida dentro da *blockchain*. Logo, dizemos que a *blockchain* permite redes seguras, ainda que não haja confiança prévia entre os usuários, pois utiliza mecanismos de proteção para garantir a integridade e a veracidade das transações [Christidis and Devetsikiotis 2016].

3. Resultados e Discussões

A partir das simulações realizadas no sistema conceito de rastreio da cadeia produtiva do mel utilizando a tecnologia *Hyperledger Iroha*, objeto deste estudo, foram observados os resultados detalhados nas subseções a seguir.

3.1. Rastreamento

Cada etapa do processo de produção do mel, desde a colheita até a entrega ao varejista, foi registrada na rede *Hyperledger Iroha* usando transações. Essas transações incluíram informações detalhadas, como a data e hora da colheita, a localização da colmeia, o volume de mel colhido e também as informações de transporte. Cada um desses atributos foi escolhido para fornecer maior precisão da proveniência do produto.

Foram realizadas 10 simulações de registros para cada ator/processo da cadeia produtiva, totalizando 60 inserções efetivas na rede *blockchain*, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de inserções na rede *blockchain* para cada ciclo produtivo

Ator	Processo	Registro	Qtd. Simulações
Apicultor	Colheita	1	10
Fábrica	Beneficiamento-Entrada	1	10
Fábrica	Beneficiamento-Saída	1	10
Transporte	Carga	1	10
Transporte	Descarga	1	10
Varejo	Estoque-Entrada	1	10

Cada registro foi nomeado por um identificador único, como um *hash* criptográfico gerado a partir das informações relevantes. Esse identificador único serviu como uma referência exclusiva para o lote ou garrafa específica.

Para facilitar o processo de registros na rede, foi desenvolvido um aplicativo simples e intuitivo (Figura 3), que permitiu aos usuários da cadeia de rastreio mencionados na subseção 2.3.2 registrar e acessar as informações de suas transações de forma segura, usando suas identidades digitais criadas na plataforma.

Assim, sabendo que transparência e rastreabilidade estão correlacionadas [Francisco and Swanson 2018], é nesse momento que a plataforma se torna fundamental, pois permite que todos os envolvidos tenham acesso às informações e possam verificar a validade dos processos, estabelecendo a confiabilidade e a credibilidade dos dados e das transações realizadas.

3.1.1. Vínculos entre os registros

Para garantir as conexões entre as etapas e atividades registradas, foram estabelecidos vínculos entre os registros. Assim, dentro do registro de uma garrafa de mel, pode haver referências aos registros dos lotes de mel que compõem essa garrafa. Isso permite que os consumidores e outros participantes da cadeia de suprimentos acompanhem a origem do mel até os lotes específicos que foram incluídos na garrafa.

3.2. Transparência e integração da cadeia produtiva

A transparência na divulgação de informações é essencial para a construção da confiança, e a tecnologia pode contribuir para a segurança alimentar ao fornecer

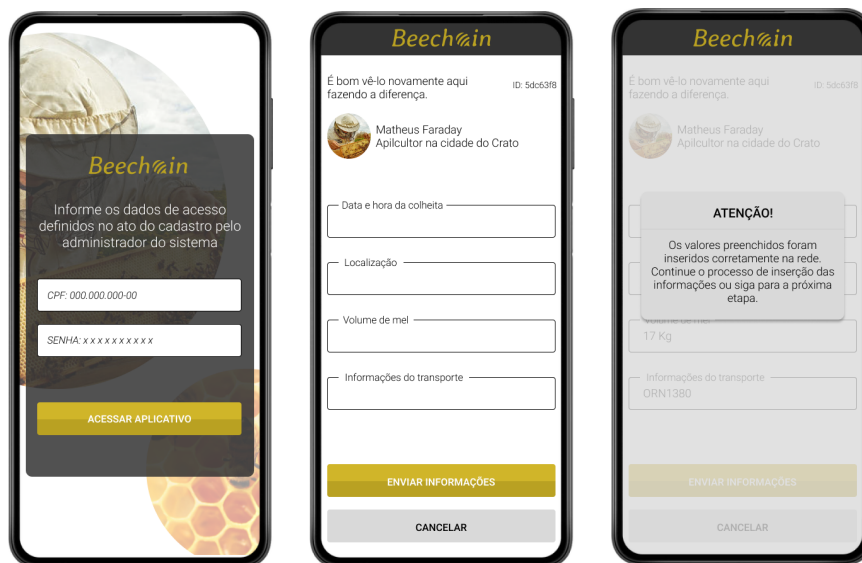


Figura 3. Aplicativo desenvolvido para ser utilizado nas inserções das informações na blockchain

maior visibilidade sobre a produção e origem dos alimentos [Singh and Sharma 2022, Ahmed and ten Broek 2017]. Desta forma, por meio do livro-razão distribuído da *Hyperledger Iroha*, cada ação foi registrada em blocos que foram interligados, criando uma cadeia de atividades que pode ser catalogada historicamente. Essa estrutura de dados permite que os usuários visualizassem todas as interações na rede, o que aumentou a confiabilidade e responsabilidade dos envolvidos.

Nos experimentos realizados, verificamos que 100% dos dados registrados puderam ser efetivamente consultados por todos os usuários da rede, inclusive os consumidores também são capazes de acessar informações detalhadas sobre todas as etapas da produção do mel por meio do aplicativo móvel, permitindo-lhes verificar a origem e qualidade do mel que estão adquirindo. Essas informações podem ser acessadas mediante uma chave de acesso única (*QR Code*) a ser disponibilizada na embalagem do mel. As telas da interface do aplicativo estão ilustradas na Figura 4.

Assim, inferimos que a implementação de uma rede de atores que compartilham informações em uma plataforma integrada, juntamente com a utilização de contratos inteligentes, permite um fluxo de informações mais eficiente e seguro entre os diferentes elos da cadeia de produção do mel. Isso pode resultar em uma maior eficiência operacional, bem como em uma redução dos riscos de fraudes e erros de registro.

3.3. Certificação

Em sentido amplo, certificação é um processo que consiste em avaliar e validar formalmente atributos de um produto, serviço ou processo, por meio de um conjunto de critérios estabelecidos por uma entidade ou órgão certificador.

Especialmente quando se trata de produtos orgânicos, sustentáveis e de origem controlada, a certificação assume um papel ainda mais relevante para assegurar a quali-

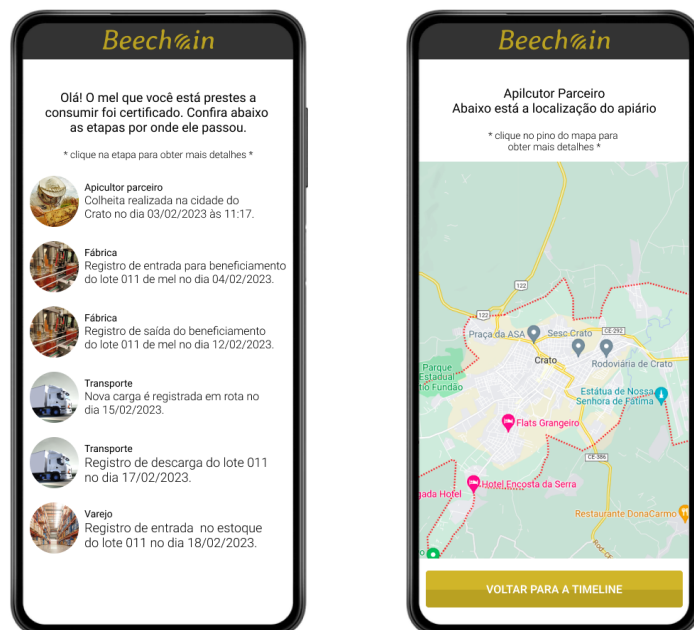


Figura 4. Telas do aplicativo desenvolvido para consultas dos consumidores

dade e autenticidade dos produtos alimentícios.

Estudo realizado pela Embrapa, Sebrae e Inpe sobre as aplicações, desafios e oportunidades da agricultura digital observou que 33% dos profissionais do agronegócio brasileiro gostariam de iniciar e/ou fortalecer o processo de certificação da cadeia produtiva [Bolfe et al. 2020]. No entanto, muitas vezes os processos de certificação tradicionais são caros, burocráticos e sujeitos a fraudes e falsificações.

Diante disso, a rede *Iroha* oferece uma solução mais econômica e menos burocrática para certificar, de modo confiável, que a produção de mel cumpriu os padrões de qualidade e sustentabilidade. Isso foi possível a partir da utilização de contratos inteligentes que validaram as informações de produção e garantiram que todos os participantes da cadeia de suprimentos estavam cumprindo estritamente os regulamentos e padrões estabelecidos nas etapas de criação das informações quando inseridas no aplicativo.

As simulações no sistema conceito confirmaram que o nível de rastreabilidade alcançado pela rede *blockchain* permite certificar a sanidade e a qualidade dos produtos, além de facilitar a replicação de modelos de sucesso.

Com acesso a informações precisas e detalhadas em cada etapa da produção, os produtores podem analisar e melhorar seus processos, o que impacta diretamente na qualidade do produto final. Tais resultados podem propiciar uma melhoria significativa na qualidade dos produtos e da segurança alimentar.

Vale ressaltar que garantir a veracidade na entrada de dados é um desafio fundamental em sistemas de rastreamento de alimentos, incluindo o rastreamento de mel de abelha usando *blockchain*. Embora seja difícil garantir com 100% de certeza a veracidade

de todas as informações fornecidas, existem algumas medidas que podem ser tomadas para aumentar a confiabilidade dos dados de entrada: identificação e autenticação, coleta de dados confiável, auditoria independente, transparência e registro imutável.

3.4. Custos e barreiras de implementação

É importante considerar os custos e as barreiras de implementação associados a qualquer proposta de rastreabilidade de alimentos. A adoção de tecnologias como *blockchain* pode exigir investimentos iniciais significativos, tanto em infraestrutura quanto em treinamento. Além disso, a colaboração entre os participantes da cadeia de suprimentos pode ser desafiadora em termos de compartilhamento de dados e padrões de comunicação.

4. Conclusão

A rastreabilidade da cadeia do mel usando a *Hyperledger Iroha* mostrou ser uma solução eficaz para conferir a transparência e segurança na produção e comercialização do mel. A tecnologia permitiu o registro e monitoramento de todas as etapas do processo, desde a colheita até a venda final, garantindo a origem e qualidade do produto. Além disso, concluímos também que a integração de diferentes usuários da cadeia produtiva do mel, como produtores, cooperativas e varejistas, permite uma comunicação mais eficiente e colaborativa.

Ademais, a implementação da tecnologia *blockchain* na cadeia produtiva do mel também pode ajudar a valorizar o produto e promover a sustentabilidade ambiental e social. Ao fornecer informações detalhadas sobre as práticas de produção do mel, os consumidores podem tomar decisões mais conscientes e apoiar os produtores que seguem boas práticas de produção.

Conforme mencionado na Subseção 3.3, é importante ressaltar que, embora diversas medidas para aumentar a confiabilidade dos dados de entrada possam ser tomadas, não há uma solução infalível para garantir a veracidade absoluta. Mesmo em um sistema seguro, permanece o risco de erro ou fraude no ponto de entrada. No entanto, acreditamos que combinando a *blockchain* com técnicas de aprendizagem de máquina pode-se detectar anomalias as quais normalmente passariam despercebidas por um ser humano.

Por fim, é importante destacar que a implementação em larga escala da solução proposta neste artigo poderá trazer benefícios significativos para toda a cadeia produtiva do mel e incentivar outras indústrias alimentícias a adotarem a tecnologia *blockchain* para aprimorar seus processos e garantir a qualidade dos produtos oferecidos aos consumidores, haja vista que, a estrutura de dados e os princípios subjacentes da solução, como a utilização de identificadores únicos, registros detalhados, vínculos entre registros e a imutabilidade da *blockchain*, podem ser aplicados a diferentes produtos alimentícios.

Agradecimentos

O presente artigo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Danielo G. Gomes agradece o suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos nº 311845/2022-3 e 432585/2016-8. Antonio Rafael Braga agradece o suporte financeiro da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP, processo nº: BP5-00197-00220.02.00/22.

Referências

- Ahmed, S. and ten Broek, N. (2017). Blockchain could boost food security. *Nature*, 550(7674):43–43.
- Bolfe, L., Jorge, L. A., Sanches, I. D., Luchiari Júnior, A., da Costa, C. C., Victoria, D. d., Inamasu, R. Y., Grego, C. R., Ferreira, V. R., Ramirez, A. R., and et al. (2020). Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of brazilian farmers. *Agriculture*, 10(12):653.
- Brasil. Ministério da Agricultura, P. e. A. (2021). *Potencialidades e desafios do agro 4.0*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável e Irrigação.
- Christidis, K. and Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the internet of things. *IEEE Access*, 4:2292–2303.
- Duan, S., Meling, H., Peisert, S., and Zhang, H. (2014). Bchain: Byzantine replication with high throughput and embedded reconfiguration. In Aguilera, M. K., Querzoni, L., and Shapiro, M., editors, *Principles of Distributed Systems*, pages 91–106, Cham. Springer International Publishing.
- Ehsan, I., Irfan Khalid, M., Ricci, L., Iqbal, J., Alabrah, A., Ullah, S. S., and Alfaqih, T. (2022). A conceptual model for blockchain-based agriculture food supply chain system. *Scientific Programming*, 2022:1–15.
- Francisco, K. and Swanson, D. (2018). The supply chain has no clothes: Technology adoption of blockchain for supply chain transparency. *Logistics*, 2(1).
- Khan, A. A., Shaikh, Z. A., Belinskaja, L., Baitenova, L., Vlasova, Y., Gerzelieva, Z., Laghari, A. A., Abro, A. A., and Barykin, S. (2022). A blockchain and metaheuristic-enabled distributed architecture for smart agricultural analysis and ledger preservation solution: A collaborative approach. *Applied Sciences*, 12(3).
- Leite, M., Katiúcia, K., Gonçalves Silva, M., Maracaja, P., and Medeiros, A. (2021). Produção, comercialização e exportação de produtos apícolas: uma análise do desempenho da região nordeste brasileira. *Research Society and Development*, 10:e466101018897.
- Muratov, F., Lebedev, A., Iushkevich, N., Nasrulin, B., and Takemiya, M. (2018). Yac: Bft consensus algorithm for blockchain.
- Puthal, D., Malik, N., Mohanty, S. P., Kougianos, E., and Das, G. (2018). Everything you wanted to know about the blockchain: Its promise, components, processes, and problems. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 7(4):6–14.
- Rünzel, M. A. S., Hassler, E. E., Rogers, R. E. L., Formato, G., and Cazier, J. A. (2021). Designing a smart honey supply chain for sustainable development. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 10(4):69–78.
- Singh, V. and Sharma, S. K. (2022). Application of blockchain technology in shaping the future of food industry based on transparency and consumer trust. *Journal of Food Science and Technology*.