



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Ágil de Projetos



Aelton Alves Cortes
Jefferson Wandenir Comerlato
Jhanayna de Paula Soares Machado
José Ricardo Ramilo
Marcio Cleber Tonelli
Paulo Sérgio Mem

**RASTREABILIDADE E SUSTENTABILIDADE COM BLOCKCHAIN NO
AGRONEGÓCIO: UMA PROPOSTA APLICADA À CADEIA PRODUTIVA DA SOJA E
DO MILHO**

CAMPO MOURÃO

2025

Aelton Alves Cortes
Jefferson Wandenir Comerlatto
Jhanayna de Paula Soares Machado
José Ricardo Ramilo
Marcio Cleber Tonelli
Paulo Sérgio Mem

RASTREABILIDADE E SUSTENTABILIDADE COM BLOCKCHAIN NO
AGRONEGÓCIO: UMA PROPOSTA APLICADA À CADEIA PRODUTIVA DA SOJA E
DO MILHO

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Ágil de Projetos, Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps e Prof. Dr. Alessandro Marques

CAMPO MOURÃO

2025

RESUMO

A crescente pressão por conformidade ambiental, impulsionada por legislações internacionais e pela agenda ESG, tem exigido que empresas do agronegócio adotem soluções tecnológicas capazes de garantir transparência e rastreabilidade em suas operações. Neste contexto, o presente trabalho propõe a aplicação da tecnologia Blockchain na rastreabilidade da cadeia produtiva da soja e do milho na Coamo Agroindustrial Cooperativa. A metodologia envolveu o levantamento de requisitos, o mapeamento do processo atual e a formulação de uma solução aderente à realidade margem implementação faseado, incluindo definição de indicadores, análise de riscos e estratégias de mitigação. Conclui-se que a adoção da Blockchain pode posicionar a Coamo como referência em sustentabilidade no setor, viabilizando o acesso a mercados regulados, ampliando a eficiência operacional e agregando valor aos produtos.

Palavras-chave: rastreabilidade agrícola; sustentabilidade; blockchain; cadeia produtiva; ESG.

ABSTRACT

The growing pressure for environmental compliance, due to international regulations and the ESG agenda, has driven agribusiness companies to adopt technological solutions capable of ensuring transparency and traceability across their operations. In this context, this paper proposes the application of blockchain technology to the traceability of the soybean and corn production chain at Coamo Agroindustrial Cooperative. The methodology involved gathering the following requirements, mapping existing processes, and formulating a realistic solution in a phased implementation, which includes defining indicators, risk analysis, and mitigation strategies. In conclusion, adopting blockchain could establish Coamo as sustainability benchmark in the sector, enabling access to regulated markets, enhancing operational efficiency and adding value to its products.

Keywords: agricultural traceability; sustainability; blockchain; production chain; ESG.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	-	FLUXO TO-BE COM INTEGRAÇÃO DA BLOCKCHAIN NO PROCESSO DE RASTREABILIDADE.....	15
----------	---	---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	-	CATEGORIAS DE DADOS RASTREÁVEIS E EVENTOS REGISTRADOS NA BLOCKCHAIN.....	23
TABELA 2	-	PORTFÓLIO DE RETORNOS DA SOLUÇÃO BLOCKCHAIN.....	24
TABELA 3	-	ESTIMATIVA DE FLUXO DE CAIXA DO PROJETO BLOCKCHAIN.....	24
TABELA 4	-	BENEFÍCIOS ESPERADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA RASTREABILIDADE COM BLOCKCHAIN.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OPORTUNIDADE DE MELHORIA.....	8
2	FUNDAMENTAÇÃO PARA A SOLUÇÃO.....	9
2.1	RASTREABILIDADE NO AGRONEGÓCIO	9
2.2	A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN	10
2.3	BLOCKCHAIN APLICADA À RASTREABILIDADE DA SOJA E DO MILHO	11
2.4	A IMPORTÂNCIA DA CONFORMIDADE COM REQUISITOS ESG	11
3	PROPOSTA DE SOLUÇÃO	12
3.1	ESTRUTURA DA SOLUÇÃO BLOCKCHAIN.....	13
3.2	INTEGRAÇÃO COM O PROCESSO DE RASTREABILIDADE AGRÍCOLA	16
3.2.1	Escolha da Propriedade e Validação Ambiental	16
3.2.2	Definição de Cultura e Aquisição de Insumos	17
3.2.3	Execução do Plantio e Acompanhamento Técnico	18
3.2.4	Colheita, Entrega, Classificação, Beneficiamento e Armazenamento	19
3.2.5	Transferência, Comercialização e Acesso à Rastreabilidade pelo Cliente Final.....	20
3.3	PADRÕES DE DADOS E GOVERNANÇA DA INFORMAÇÃO	22
3.4	ROI – RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO	23
4	REFLEXÕES E DISCUSSÃO.....	26
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
5.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	29
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO E OPORTUNIDADE DE MELHORIA

O agronegócio brasileiro, especialmente em cadeias produtivas como a da soja e do milho, enfrenta desafios crescentes relacionados à rastreabilidade e à conformidade com exigências socioambientais. A necessidade de garantir transparência em todas as etapas do processo produtivo é impulsionada por legislações internacionais, como o Regulamento Europeu de Produtos Livres de Desmatamento (EUDR), e pela crescente adoção de critérios ESG (Environmental, Social and Governance) por mercados importadores. Segundo Moura et al. (2020), a rastreabilidade digital é uma das ferramentas mais promissoras para fortalecer os pilares ESG, promovendo transparência ambiental, social e de governança em cadeias agroindustriais.

Atualmente, embora existam mecanismos de controle nas cooperativas agrícolas, o processo de rastreabilidade ainda se mostra fragmentado e complexo. Desde a escolha da propriedade até o embarque da produção no ponto de transbordo ou destino final, seja por transporte rodoviário, ferroviário, hidroviário ou marítimo, a operação envolve múltiplos agentes, sistemas e etapas críticas que incluem validação ambiental de áreas, definição técnica de cultivares, aquisição e vinculação de insumos, acompanhamento agrônomo, colheita, classificação, transporte, armazenamento segregado e comercialização.

A multiplicidade de fontes de dados e a ausência de um repositório único, auditável e imutável dificultam a comprovação da conformidade socioambiental e aumentam o risco de inconformidade documental e operacional. Além disso, a dificuldade de apresentar informações integradas e confiáveis em auditorias externas compromete a competitividade da produção nos mercados mais exigentes (Costa et al., 2021).

Nesse contexto, identificou-se a oportunidade de implementar uma solução baseada em Blockchain, com o objetivo de registrar de forma distribuída e inviolável os eventos críticos do processo, permitindo rastreabilidade reversa desde o produto final exportado até a propriedade rural de origem. Segundo Tapscott e Tapscott (2016), a Blockchain elimina a necessidade de confiança direta entre as partes ao transferi-la para a rede distribuída, promovendo integridade e auditabilidade. Espera-se, com isso, atender às exigências legais, aumentar a transparência para os clientes finais e posicionar a cooperativa como referência em sustentabilidade e inovação no agronegócio brasileiro.

Identificou-se, assim, uma oportunidade de melhoria no processo de rastreabilidade da soja e do milho por meio da adoção da tecnologia Blockchain. A proposta visa estabelecer uma

plataforma segura e descentralizada de registro de dados, permitindo o acompanhamento da origem, movimentação e conformidade dos produtos de forma confiável, auditável e alinhada às boas práticas ESG. Tal iniciativa tem o potencial de atender às exigências regulatórias, mitigar riscos reputacionais e agregar valor aos produtos comercializados pela Cooperativa.

2. FUNDAMENTAÇÃO PARA A SOLUÇÃO

A rastreabilidade tem se consolidado como um requisito fundamental nas cadeias produtivas do agronegócio, especialmente em contextos que demandam conformidade ambiental, transparência e responsabilidade socioeconômica. A crescente exigência por parte de compradores internacionais, consumidores e órgãos reguladores tem impulsionado a busca por soluções tecnológicas que garantam a confiabilidade das informações em toda a cadeia de suprimentos. Neste cenário, a tecnologia Blockchain desponta como ferramenta estratégica para estruturar uma rastreabilidade segura, transparente e auditável.

2.1. RASTREABILIDADE NO AGRONEGÓCIO

A rastreabilidade no agronegócio é definida como a capacidade de identificar e acompanhar, ao longo do tempo, a origem, movimentação e destino de produtos, insumos e informações associadas às etapas do processo produtivo. Trata-se de um mecanismo essencial para garantir a transparência e a integridade das cadeias agroindustriais, permitindo respostas rápidas a exigências legais, sanitárias, ambientais e comerciais.

No contexto da produção de soja e milho, a rastreabilidade ganha importância estratégica diante da pressão crescente de mercados, sobretudo os internacionais por comprovação de práticas sustentáveis, principalmente em relação à origem de áreas livres de desmatamento, uso adequado de insumos e regularidade ambiental das propriedades produtoras. Segundo Costa et al. (2021), cadeias produtivas agrícolas que adotam sistemas robustos de rastreabilidade têm maior capacidade de mitigar riscos, agregar valor e acessar mercados regulados como a União Europeia.

Na prática, o processo de rastreabilidade na cooperativa envolve desde o cadastramento da propriedade rural e sua validação ambiental, passando pela definição técnica da cultura e da cultivar, aquisição de insumos, execução do plantio, acompanhamento técnico durante o ciclo produtivo, colheita e entrega da produção nas unidades de recebimento, até a industrialização, comercialização e publicação das informações no portal do cliente final. Cada

uma dessas etapas gera dados relevantes que precisam ser capturados, validados, armazenados e disponibilizados de forma segura e estruturada.

A complexidade operacional dessa cadeia evidencia a necessidade de soluções tecnológicas que garantam o fluxo confiável e auditável das informações. Conforme Moura et al. (2020), a rastreabilidade digital deve ser compreendida como um sistema integrado de gestão e verificação, que conecta diferentes atores da cadeia produtiva em torno de um mesmo modelo de governança e de confiança.

2.2. A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN

A tecnologia Blockchain consiste em uma estrutura de registros distribuídos que opera por meio de consenso entre participantes da rede, permitindo o armazenamento de informações em blocos encadeados de forma cronológica. Cada transação é registrada com carimbo de tempo, assinatura digital e referência ao bloco anterior, assegurando a imutabilidade e a integridade dos dados.

Essa arquitetura elimina a necessidade de confiança direta entre as partes envolvidas, uma vez que a confiabilidade é transferida para o código e para a lógica de validação da rede. Segundo Tapscott e Tapscott (2016), a Blockchain substitui a confiança interpessoal por confiança programável, descentralizada e verificável, tornando-a ideal para sistemas que exigem transparência e rastreabilidade.

Inicialmente utilizada no setor financeiro, a Blockchain vem sendo adotada em setores que demandam elevado controle de origem, como saúde, logística e cadeias agroindustriais. Em sistemas complexos como o da cooperativa, onde múltiplos agentes operam de forma descentralizada e cada etapa do processo deve ser registrada e validada, a tecnologia mostra-se adequada para garantir a integridade das informações sem depender de uma única entidade central.

De acordo com Silva e Pereira (2023), em ambientes agroindustriais, a Blockchain contribui para a construção de confiança institucional, facilita auditorias, reduz fraudes documentais e permite o rastreamento reverso dos produtos com elevado grau de precisão. Tais características tornam essa tecnologia especialmente útil para atender exigências internacionais de sustentabilidade e conformidade regulatória.

2.3. BLOCKCHAIN APLICADA À RASTREABILIDADE DA SOJA E DO MILHO

A aplicação da tecnologia Blockchain na cadeia produtiva da soja e do milho visa estruturar um sistema confiável e transparente de rastreabilidade, capaz de registrar, validar e compartilhar informações críticas sobre a produção, armazenamento, transporte e comercialização dos grãos. A proposta considera o uso de uma rede permissionada, na qual os principais agentes da cadeia como produtores, agrônomos, unidades de recebimento, indústrias e terminais portuários atuam como validadores distribuídos, garantindo que cada evento registrado seja autêntico e imutável.

Em função da complexidade operacional do processo agrícola da cooperativa, a Blockchain é particularmente útil para consolidar, de forma segura, dados provenientes de diferentes sistemas e etapas, como: validação ambiental da propriedade, escolha da cultivar, recomendação técnica, aquisição de insumos, plantio, acompanhamento agrônômico, colheita, classificação e segregação de lotes, transferência para a indústria, comercialização e disponibilização de informações ao cliente final. Cada uma dessas fases pode gerar um bloco de dados validado digitalmente, o que permite construir uma trilha contínua e verificável da conformidade socioambiental do produto.

A tecnologia permite ainda o uso de contratos inteligentes (*smart contracts*) para automatizar processos como validações de conformidade, bloqueio de acesso a unidades industriais para produtos não sustentáveis, ou emissão de laudos e relatórios com base em critérios pré-programados. Segundo Moura et al. (2020), essa automação baseada em Blockchain fortalece a governança digital das cadeias produtivas, assegurando que os critérios de sustentabilidade sejam operacionalizados de forma contínua, auditável e eficiente.

Além disso, a possibilidade de fornecer aos clientes finais acesso a relatórios completos de rastreabilidade desde o porão do navio até a propriedade de origem reforça a confiança na cadeia produtiva, melhora a transparência e atende às exigências de auditorias e certificações internacionais.

2.4. A IMPORTÂNCIA DA CONFORMIDADE COM REQUISITOS ESG

A crescente adoção de critérios ESG pelos mercados internacionais tem exigido das cadeias produtivas agrícolas um nível cada vez maior de transparência, responsabilidade e rastreabilidade. No caso da soja e do milho, produtos altamente visados em termos de impacto ambiental, garantir a conformidade com esses princípios tornou-se um requisito fundamental

para o acesso a mercados regulados, como o europeu, que recentemente passou a exigir comprovação de origem livre de desmatamento por meio do EUDR.

No âmbito da cooperativa, a conformidade ESG envolve desde a verificação ambiental automatizada das propriedades rurais — com base em dados do CAR – Cadastro Ambiental Rural, PRODES - Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite, IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, CNUC - Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária e FUNAI - Fundação Nacional dos Povos Indígenas — até a segregação física e digital dos lotes ao longo de todo o processo de produção, armazenagem, industrialização e comercialização. A gestão da rastreabilidade é, assim, um elemento central para assegurar que apenas produtos provenientes de áreas regulares e sem passivos ambientais sejam destinados a mercados que exigem certificações ou selos sustentáveis.

Segundo Moura et al. (2020), a integração da rastreabilidade digital com os critérios ESG permite o monitoramento sistemático de três dimensões: o aspecto ambiental, ao garantir que a produção ocorre em áreas livres de desmatamento; o aspecto social, ao assegurar transparência nos vínculos entre os agentes da cadeia; e o aspecto de governança, ao promover registros auditáveis e padronizados, reduzindo o risco de fraudes e omissões.

Dessa forma, a tecnologia proposta não apenas responde a uma demanda mercadológica, mas se alinha a uma estratégia de posicionamento institucional mais ampla, na qual a sustentabilidade deixa de ser uma exigência externa e passa a ser parte integrante da proposta de valor da cooperativa.

3. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

A rastreabilidade da cadeia produtiva da soja e do milho representa um desafio estratégico, especialmente diante das exigências regulatórias internacionais, das demandas por práticas sustentáveis e da necessidade de comprovação de origem dos produtos agrícolas. A ausência de integração entre sistemas e a fragilidade na imutabilidade dos registros comprometem a confiabilidade dos dados e dificultam auditorias, certificações e o acesso a mercados regulados.

Neste contexto, propõe-se a adoção da tecnologia Blockchain como base para um sistema de rastreabilidade robusto, auditável e descentralizado. Essa tecnologia permite o registro cronológico e imutável de eventos, garantindo transparência e integridade das informações ao longo da cadeia. Segundo Costa et al. (2021), a aplicação de Blockchain em

cadeias agrícolas tem o potencial de fortalecer a governança, automatizar a verificação de conformidade e promover o alinhamento a práticas ESG.

A proposta considera a criação de uma rede permissionada, envolvendo os principais agentes da cadeia produtores, transportadores, armazenadores, indústria, clientes e auditores, permitindo controle de acesso, padronização de dados e validação distribuída. O modelo será estruturado de forma escalável, com início por um projeto-piloto e posterior expansão conforme os resultados e a adesão dos participantes, de forma a abranger 100% do quadro social.

3.1. ESTRUTURA DA SOLUÇÃO BLOCKCHAIN

A arquitetura proposta baseia-se em uma rede permissionada de Blockchain, na qual apenas entidades autorizadas — como a cooperativa, seus cooperados, os auditores e os clientes finais — podem registrar, consultar ou validar informações ao longo da cadeia produtiva. A rede será utilizada para armazenar, de forma imutável e auditável, os principais eventos e evidências relacionadas à produção de soja e milho desde a origem nas propriedades rurais até o destino final.

O modelo prevê que cada etapa relevante do processo — como validação ambiental, plantio, aplicação de insumos, colheita, entrega, classificação e comercialização — gere um bloco com os dados correspondentes, devidamente identificados, assinados digitalmente e encadeados cronologicamente. Esses registros serão gerados pelo sistema da cooperativa, com apoio das equipes técnicas de campo e das áreas operacionais. Os dados passarão por validações internas e, em seguida, serão sintetizados em *hashes* criptográficos que serão incluídos na Blockchain.

Dessa forma, a rastreabilidade será composta por uma trilha contínua de registros digitais que permite reconstruir o histórico completo de produção de cada lote, incluindo a situação ambiental da propriedade produtora, sua localização geográfica, os insumos utilizados, as práticas adotadas e os resultados obtidos em análises técnicas e laboratoriais. Como apontam Silva e Pereira (2023), a imutabilidade e a descentralização da Blockchain fornecem garantias de integridade e confiabilidade aos registros agrícolas, tornando-os adequados para atender às exigências de auditorias e certificações internacionais.

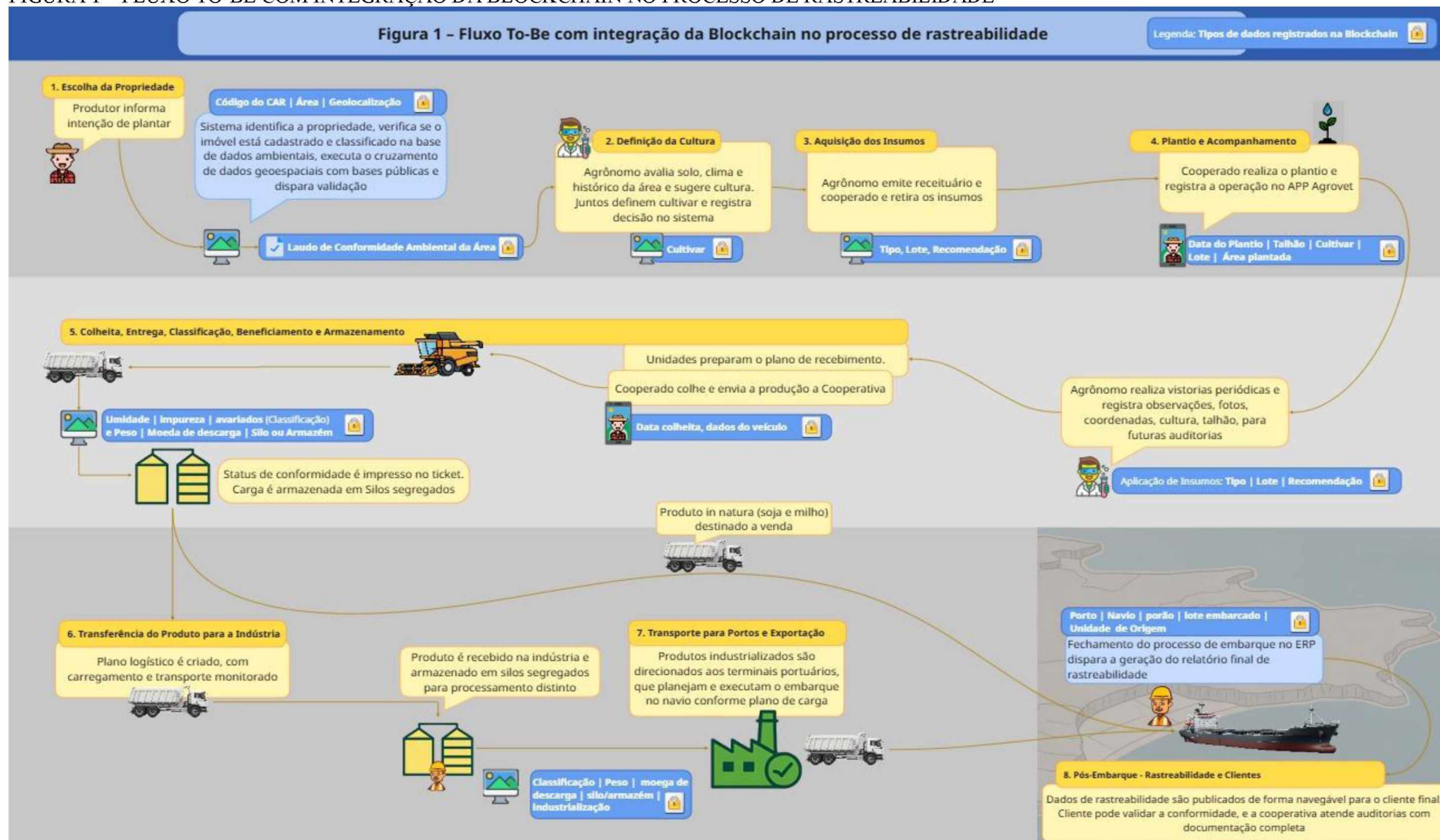
A solução parte de uma etapa condicional inicial, em que se verifica se a propriedade está previamente cadastrada e validada na cooperativa. Quando o CAR ainda não está registrado, o sistema aciona rotinas automáticas de verificação ambiental em bases públicas (como PRODES, IBAMA e CNUC), gerando um laudo digital que atesta a conformidade ou

não do imóvel rural. Esse laudo, quando validado, constitui o primeiro dado registrado na Blockchain para aquela safra e área produtiva.

De acordo com Costa et al. (2021), a rastreabilidade agrícola baseada em validações ambientais integradas e automáticas aumenta substancialmente a segurança jurídica e a transparência nos processos produtivos rurais.

A Figura 1 apresenta uma visão geral da arquitetura da solução Blockchain, destacando os principais agentes envolvidos, os tipos de dados registrados e os fluxos de validação previstos na rede.

FIGURA 1 – FLUXO TO-BE COM INTEGRAÇÃO DA BLOCKCHAIN NO PROCESSO DE RASTREABILIDADE



FONTE: Os autores (2025).

3.2. INTEGRAÇÃO COM O PROCESSO DE RASTREABILIDADE AGRÍCOLA

A rastreabilidade agrícola requer a integração de múltiplos dados operacionais gerados ao longo do ciclo produtivo, desde a validação da área de plantio até o embarque do produto final. No contexto da cooperativa, esse processo é realizado por meio de diversos sistemas internos, como AGROVET, PRODUTIV, ACOMP, SISOLO e plataformas integradas ao ERP corporativo. Esses sistemas concentram registros técnicos, operacionais, logísticos e fiscais que, atualmente, encontram-se distribuídos em bases distintas e com diferentes níveis de controle e interoperabilidade.

A proposta de solução foi desenhada com base na estrutura atual dos processos internos da cooperativa, adaptando-os para incorporar registros digitais verificáveis via Blockchain. O fluxo mapeado considera oito macroetapas, iniciando pela escolha da propriedade, momento em que se verifica a necessidade de cadastro e classificação do CAR. Se a propriedade ainda não estiver cadastrada na base da cooperativa, o processo segue para o cadastro, validação ambiental e geração do laudo de conformidade, de forma automatizada. Apenas após a confirmação da regularidade ambiental é que o produtor pode avançar para a definição da cultura e sequência do ciclo produtivo.

Cada etapa do processo produtivo — desde o cadastro da propriedade rural e sua verificação ambiental até a comercialização no mercado interno ou externo do grão in natura ou produto industrializado com certificação de origem — será analisada quanto à sua relevância para fins de rastreabilidade e sua viabilidade de integração na cadeia de blocos. Essa abordagem permitirá a captura e validação contínua de dados técnicos e operacionais, criando uma trilha digital auditável e estruturada.

A seguir, são detalhadas as principais etapas do processo de rastreabilidade agrícola e a forma como a tecnologia Blockchain será integrada em cada uma delas.

3.2.1. Escolha da Propriedade e Validação Ambiental

O processo tem início quando o produtor informa ao agrônomo da cooperativa a intenção de plantar determinada cultura em uma propriedade. Neste momento, o sistema verifica se o imóvel rural (propriedade) já está cadastrado e classificado na base de dados ambientais da cooperativa.

Caso a propriedade ainda não esteja cadastrada, o processo segue para a rotina de análise ambiental: o agrônomo ou atendente insere o código do CAR, o nome da propriedade e demais informações básicas no sistema. Em seguida, a plataforma executa automaticamente a validação ambiental cruzando os dados geoespaciais da propriedade com bases públicas como PRODES, IBAMA, CNUC, INCRA e FUNAI. O resultado gera um laudo digital de conformidade ambiental, com indicação se a propriedade está conforme, pendente ou não conforme.

Esse modelo digital de validação prévia permite estabelecer, já na origem, os critérios que determinarão a elegibilidade da produção para mercados com exigências de rastreabilidade e conformidade socioambiental. De acordo com Costa et al. (2021), sistemas que incorporam validações ambientais automatizadas e baseadas em georreferenciamento aumentam a confiabilidade da rastreabilidade agrícola e reduzem significativamente o risco de não conformidade legal.

Somente após a aprovação ambiental a exploração agrícola pode ser registrada, e o processo avança para a definição da cultura e aquisição de insumos.

3.2.2. Definição de Cultura e Aquisição de Insumos

Após a aprovação da propriedade na etapa de validação ambiental, o processo segue para a definição da cultura a ser plantada. Nessa fase, o produtor manifesta seu interesse em uma determinada cultura principal — como soja ou milho — e conta com o apoio técnico do agrônomo da cooperativa para validar a escolha, com base em aspectos técnicos e climáticos.

O agrônomo realiza uma análise do histórico da área, utilizando registros de safras anteriores, dados de fertilidade do solo e recomendações agronômicas baseadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). Essa avaliação considera também o ciclo da cultura, a janela de plantio adequada, o nível de risco climático, além da ocorrência de pragas e doenças regionais. As ferramentas utilizadas incluem sistemas como AGROVET, caderno de campo digital e software de recomendação técnica interna.

Com base nessa análise, o agrônomo sugere uma cultivar adequada, compatível com o tipo de solo e as condições edafoclimáticas da propriedade. A decisão final é registrada no sistema, vinculando a cultura, a propriedade e a safra ao ciclo produtivo aprovado. O sistema da cooperativa realiza validações automáticas quanto à compatibilidade da cultivar com a região e com o histórico da área produtiva.

Uma vez definida a cultura, a próxima etapa envolve a recomendação técnica e aquisição de insumos. O agrônomo emite um receituário agrônômico com as especificações para sementes, fertilizantes e defensivos. O produtor acessa a plataforma da cooperativa (web ou aplicativo) para consultar a disponibilidade dos insumos recomendados, formalizar a solicitação de compra e selecionar local de retirada ou entrega. A equipe de atendimento valida o pedido, registra o fornecimento e gera a nota fiscal vinculada à exploração agrícola.

Todos os insumos adquiridos ficam registrados no sistema com lote, data, quantidade e responsável técnico, compondo o histórico digital do ciclo produtivo. Essa etapa fortalece a rastreabilidade da produção, ao permitir o rastreamento de cada insumo utilizado na lavoura. Conforme apontado por Silva e Pereira (2023), o vínculo entre os insumos aplicados e a exploração agrícola é um dos pilares de rastreabilidade exigidos em certificações de sustentabilidade e programas de conformidade ambiental.

Ao final dessa etapa, os dados consolidados de cultura, cultivar e insumos alimentam os módulos de planejamento técnico e operacional da cooperativa, permitindo a geração de indicadores agrônômicos regionais e o monitoramento contínuo da conformidade de cada unidade produtiva.

3.2.3. Execução do Plantio e Acompanhamento Técnico

Com a propriedade validada ambientalmente, a cultura definida e os insumos adquiridos, o produtor segue para a execução do plantio. Essa etapa envolve tanto a preparação da área quanto o registro estruturado da operação no sistema da cooperativa, possibilitando rastreabilidade desde o início do ciclo agrícola.

Antes da semeadura, o agrônomo realiza uma vistoria técnica na área para verificar a adequação das práticas de correção do solo, o uso correto dos insumos recomendados e a condição climática da janela de plantio. São avaliadas a calagem, adubação de base, regulagem do maquinário e a compatibilidade do cronograma de plantio com o ZARC da cultura.

A operação de plantio é realizada pelo produtor, que registra as seguintes informações no sistema: talhão, área plantada, cultivar utilizada, lote de sementes, data e hora da semeadura. Em algumas situações, dados de georreferenciamento são obtidos via sistema embarcado no trator ou inseridos manualmente no aplicativo técnico da cooperativa.

As informações registradas são automaticamente vinculadas à exploração agrícola aprovada e organizadas por safra, talhão e propriedade. Isso permite consolidar um histórico

agronômico estruturado e auditável. Segundo Costa et al. (2021), a formalização digital dos eventos produtivos com granularidade por talhão fortalece os mecanismos de rastreabilidade, pois viabiliza a análise retroativa de conformidade, produtividade e origem dos produtos.

Após o plantio, o agrônomo dá continuidade ao acompanhamento técnico da lavoura por meio de visitas de campo, avaliações visuais e registros fotográficos com geolocalização. São monitorados a emergência da cultura, a densidade de plantas, a uniformidade da germinação, a incidência de pragas e doenças, e o estado geral da lavoura. Essas informações são registradas em plataformas integradas como AGROVET ou PRODUTIV.

Esse acompanhamento técnico contínuo é essencial para garantir práticas agrícolas sustentáveis e promover o alinhamento com boas práticas de manejo exigidas por auditorias e certificações. Os dados coletados ao longo do ciclo alimentam os sistemas da cooperativa, compondo um repositório confiável de evidências da conformidade agrônômica da produção.

3.2.4. Colheita, Entrega, Classificação, Beneficiamento e Armazenamento

A colheita marca uma das etapas mais críticas do processo de rastreabilidade, pois representa o ponto de consolidação da produção e o início da sua movimentação física na cadeia logística da cooperativa. Para garantir a rastreabilidade e a segregação de lotes, as atividades de colheita, classificação e entrega da produção seguem um conjunto de procedimentos padronizados e registrados digitalmente.

Antes do início da colheita, o sistema da cooperativa realiza automaticamente uma verificação de conformidade ambiental da propriedade e da exploração agrícola cadastrada. Essa validação considera a regularidade do CAR, a compatibilidade da área plantada com o volume estimado e a presença de pendências ambientais. Caso haja inconformidades, são emitidos alertas ao agrônomo responsável e à unidade de recebimento.

A colheita é realizada por talhão, seguindo o plano técnico definido anteriormente. Os dados coletados — como volume estimado, data e coordenadas geográficas — são registrados pelo produtor ou validados pelo agrônomo por meio de visitas técnicas. Os sistemas integrados da cooperativa, como AGROVET e PRODUTIV, consolidam essas informações e vinculam os registros à safra, propriedade e cultivar correspondentes.

Durante a entrega do produto na unidade de recebimento, o sistema verifica automaticamente a compatibilidade entre a carga e os dados da produção registrada, como área

plantada, status ambiental e exploração aprovada. Os dados de entrada são coletados em tempo real, incluindo: cultura, talhão de origem, peso bruto e líquido, horário de chegada e identificação do veículo. Caso haja inconsistência, o sistema bloqueia a entrada e notifica os responsáveis.

As unidades de recebimento realizam a classificação técnica da carga, de acordo com os parâmetros estabelecidos nas instruções normativas do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, tais como umidade, impurezas, ardidos, fermentados, cor e odor. O resultado da análise é vinculado digitalmente ao lote recebido e armazenado no sistema da cooperativa. Essa etapa é essencial para a qualificação dos produtos para diferentes destinos comerciais, como mercado interno, exportação geral ou exportação com certificação de sustentabilidade.

A segregação física e digital dos produtos é mantida nas moegas, silos e armazéns da cooperativa. A produção considerada conforme com critérios socioambientais é separada daquela que não atende aos requisitos, garantindo a rastreabilidade e a conformidade com exigências como o EUDR.

Segundo Moura et al. (2020), a rastreabilidade eficiente na pós-colheita é um dos pontos de maior impacto em auditorias de sustentabilidade, pois envolve o controle sobre a movimentação e o armazenamento dos produtos, assegurando que a origem e a integridade dos dados sejam preservadas ao longo da cadeia logística.

3.2.5. Transferência, Comercialização e Acesso à Rastreabilidade pelo Cliente Final

Após a etapa de classificação e segregação da produção nas unidades de recebimento, inicia-se o processo de transferência dos grãos para as unidades industriais da cooperativa, seguido pela expedição do produto final para comercialização, tanto no mercado interno como externo. Todas essas etapas são monitoradas e registradas digitalmente, compondo os últimos elos da cadeia de rastreabilidade e garantindo a integridade das informações registradas em Blockchain.

A transferência entre unidades respeita rigorosamente os critérios de conformidade socioambiental. O sistema da cooperativa valida se a carga transferida se origina de silos classificados como sustentáveis e se o destino — geralmente uma indústria de soja ou milho — está habilitado a processar produtos certificados. Um QR Code ou código digital único é gerado para cada ordem de carregamento, vinculando a carga à sua origem rastreável.

Durante o transporte até os terminais portuários, o sistema logístico da cooperativa realiza o rastreamento do veículo, registrando horários, rotas e desvios. Ao chegar ao ponto de transbordo ou destino final — seja por transporte rodoviário, ferroviário, hidroviário ou marítimo, atendendo tanto ao mercado interno quanto ao externo — o produto in natura (soja e milho) ou industrializado é novamente classificado, segregado e armazenado conforme seu status de conformidade. Todo o processo é registrado de forma a permitir rastreamento detalhado por caminhão, vagão, navio, porão ou qualquer outra unidade logística, garantindo a integridade física e a transparência de toda a cadeia.

O processo de comercialização segue uma lógica estruturada e digitalizada: os dados de expedição, notas fiscais, análises laboratoriais, origem das cargas e status de conformidade são integradas em um sistema central (ERP), que executa rotinas de rastreabilidade reversa e prepara o relatório final, no caso de exportação, para cada porão do navio exportador. Essa funcionalidade é essencial para atender às exigências do regulamento europeu EUDR e de certificações internacionais como ISCC - Certificação Internacional de Sustentabilidade e Carbono e RTRS - Mesa Redonda de Soja Responsável.

Uma vez consolidado, o relatório de rastreabilidade é disponibilizado ao cliente final por meio de um portal digital interativo, no qual é possível navegar pela cadeia produtiva desde o porão do navio até as propriedades rurais de origem. O cliente pode acessar dados como CAR da propriedade, localização geográfica, laudos de conformidade ambiental, datas de plantio e colheita, e análises laboratoriais. Essa estrutura reforça a transparência e a confiança comercial entre as partes.

Segundo Silva e Pereira (2023), a disponibilização de trilhas de rastreabilidade com validação distribuída representa um diferencial competitivo em mercados regulados, além de facilitar a prestação de contas em auditorias externas e a comunicação institucional de práticas sustentáveis.

Em caso de auditoria, questionamento regulatório ou necessidade de reanálise, a cooperativa é capaz de fornecer evidências digitais completas — como laudos, imagens de satélite, histórico de conformidade e justificativas técnicas — integradas diretamente à Blockchain, garantindo segurança, auditabilidade e eficiência.

3.3. PADRÕES DE DADOS E GOVERNANÇA DA INFORMAÇÃO

A eficácia da rastreabilidade com Blockchain depende não apenas da tecnologia adotada, mas também da padronização e integridade dos dados registrados ao longo da cadeia produtiva. A construção de uma trilha digital confiável exige o estabelecimento de formatos consistentes, validações sistêmicas e políticas claras de governança da informação.

No modelo proposto, cada evento relevante do processo produtivo — como validação da propriedade, recomendação técnica, plantio, entrega, classificação, armazenamento, transporte e comercialização — será transformado em um registro estruturado contendo identificadores únicos, metadados, assinatura digital e carimbo de tempo (*timestamp*). Esses dados seguirão uma taxonomia padronizada definida pela cooperativa, com base em categorias como: unidade operacional, safra, cultura, talhão, lote de insumo, tipo de evento e status de conformidade.

Além da padronização, será adotado um modelo de hash criptográfico para cada conjunto de dados relevantes, permitindo sua vinculação a blocos da rede Blockchain. Esses hashes garantem a integridade e inviolabilidade das informações, permitindo sua verificação a qualquer momento por meio de processos de *proof-of-existence* ou *audit trail*.

A governança da rede permissionada será baseada em níveis de acesso por perfil, definidos conforme o papel de cada agente na cadeia. Produtores, agrônomos, técnicos, operadores de unidade, exportadores e clientes finais terão permissões distintas, assegurando a descentralização sem comprometer a segurança dos dados. A gerência da cooperativa, em conjunto com as áreas de tecnologia e compliance, atuará como entidade responsável pela manutenção da governança, atualização de regras e auditoria de eventos registrados.

De acordo com Silva e Pereira (2023), projetos de rastreabilidade com Blockchain exigem não apenas arquitetura tecnológica robusta, mas também políticas institucionais que assegurem a consistência dos dados, o cumprimento de normas legais e a interoperabilidade com sistemas externos, como plataformas de certificação internacional.

A adoção de *smart contracts* complementarará essa governança, permitindo automatizar validações, bloqueios e execuções condicionais com base em parâmetros pré-programados. Tais contratos serão utilizados, por exemplo, para impedir a comercialização de produtos oriundos de propriedades não conformes, liberar relatórios técnicos mediante auditoria ou validar a origem de lotes para certificação de comercialização.

Para garantir a integridade e a padronização das informações registradas na Blockchain, foi mapeada uma estrutura de dados rastreáveis ao longo do ciclo produtivo. A

Tabela 1 apresenta os principais eventos da cadeia, os dados envolvidos, a frequência de registro, os responsáveis pela inserção e sua relação com a rede distribuída.

TABELA 1 - CATEGORIAS DE DADOS RASTREÁVEIS E EVENTOS REGISTRADOS NA BLOCKCHAIN

Etapa do Processo	Tipo de Dados Registrado	Frequência	Responsável pela Inserção	Registro na Blockchain?
Cadastro de propriedade (CAR)	Código do CAR, Área, Geolocalização	1 vez	Produtor Agrônomo /	Sim
Plantio	Data do plantio, talhão, cultivar, lote, área plantada	Por ciclo	Produtor Agrônomo /	Sim
Aplicação de insumos	Tipo, lote, recomendação	Por ciclo	Agrônomo	Sim
Colheita	Data, Dados do veículo, Cultivar, Talhão de Origem, Peso bruto e líquido	Por ciclo	Produtor	Sim
Entrega na unidade	Classificação (umidade, impureza, avariados), peso, moega de descarga, silo/armazém.	Por carga entregue	Unidade de recebimento	Sim
Transferência para a Indústria (Soja)	Classificação (umidade, impureza, avariados), peso, moega de descarga, silo/armazém, lote produzido	Por carga entregue e Lote de produto industrializado	Unidade Industrial	Sim
Comercialização	Unidade de origem, lote embarcado, transporte rodoviário, ferroviário, hidroviário ou marítimo com rastreamento detalhado por caminhão, vagão, navio, porão ou qualquer outra unidade logística.	Por lote	Sistema	Sim

Fonte: Os autores (2025).

3.4. ROI – RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO

O Retorno sobre o Investimento (ROI) é tradicionalmente definido como um indicador que mede a relação entre o lucro líquido obtido e o valor investido em um projeto, permitindo avaliar sua viabilidade econômica e eficiência (Gitman, 2010). Entretanto, no contexto contemporâneo, impulsionado pela agenda ESG e pela pressão regulatória, a análise do ROI ultrapassa a dimensão financeira, incorporando benefícios intangíveis relacionados à sustentabilidade, reputação e conformidade. Segundo Kaplan e Norton (2004), organizações de alto desempenho não medem seu sucesso apenas por indicadores financeiros, mas também pelo valor gerado em ativos intangíveis, como confiança, inovação e imagem institucional.

No caso da COAMO, a adoção da Blockchain para rastreabilidade das cadeias da soja e do milho permite quantificar não apenas ganhos financeiros, mas também retornos ambientais, sociais, regulatórios e estratégicos. Assim, propõe-se ampliar a análise do ROI para contemplar múltiplas dimensões de valor.

TABELA 2 – PORTFÓLIO DE RETORNOS DA SOLUÇÃO BLOCKCHAIN

Dimensão	Descrição do Retorno
Ambiental	Monitoramento preciso da conformidade ambiental, redução de riscos de desmatamento e otimização de práticas agrícolas sustentáveis.
Social	Transparência para cooperados e consumidores, fortalecimento da confiança e valorização das comunidades rurais.
Reputação	Posicionamento da Coamo como referência em inovação e sustentabilidade no agronegócio.
Regulatória	Cumprimento facilitado de requisitos legais e certificações internacionais, minimizando riscos de barreiras comerciais.
Operacional	Redução de erros e retrabalhos, maior eficiência na tomada de decisão por dados confiáveis e auditáveis.
Estratégica	Antecipação a tendências globais de rastreabilidade e abertura de novos mercados de alto valor agregado.
Financeira	Receita incremental pela diferenciação em mercados internacionais com certificação de rastreabilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Kaplan e Norton (2004); Gitman (2010).

3.4.1 Fluxo Financeiro do Projeto

Para efeito de análise financeira, considerou-se um investimento inicial de R\$ 4.000.000,00 e a estimativa de um possível prêmio de até US\$ 1,00 por tonelada de farelo exportado com certificação de rastreabilidade. Ressaltamos que essa busca por um prêmio relacionado à rastreabilidade representa um desafio para a área Comercial, podendo ou não se concretizar. Ainda assim, caso esse prêmio não se confirme, o projeto certamente contribuirá para a manutenção dos negócios, sem implicar em perda de valor do produto oferecido ao mercado.

TABELA 3 – ESTIMATIVA DE FLUXO DE CAIXA DO PROJETO BLOCKCHAIN

Dimensão	Descrição do Retorno
Investimento inicial	R\$ 4.000.000,00
Volume exportado (2024)	1.391.938 ton.
Prêmio estimado (US\$/ton)	US\$ 1,00
Câmbio considerado	R\$ 5,73
Receita adicional (ano 1)	R\$ 7.975.805,34

Fonte: Dados da COOPERATIVA (2024), cálculos do autor.

3.4.2 Indicadores Econômico-Financeiros

Valor Presente Líquido (VPL): R\$ 2.657.095,28

O VPL mede o valor atual dos fluxos de caixa futuros de um projeto, descontados a uma taxa mínima de atratividade (TMA), que neste caso utilizamos a taxa Selic, atualmente em 15% ao ano, menos o investimento inicial. Ele mostra se o projeto gera riqueza adicional em termos monetários. Como o VPL é positivo e elevado (R\$ 2,657 milhões), significa que o

projeto não apenas recupera o capital investido como também gera um excedente líquido expressivo a valor presente.

Índice de Lucratividade (IL): 1,66

Também chamado de **Índice Benefício/Custo**, mede a relação entre o valor presente dos fluxos de caixa futuros e o valor do investimento inicial. Se for maior que 1, indica viabilidade. O IL de **1,66** significa que para cada R\$ 1,00 investido, o projeto retorna R\$ 1,66 em valor presente. Ou seja, o investimento é altamente atrativo, já que o retorno é significativamente maior do que o capital aplicado.

ROI: 191,39%

O ROI mede a taxa percentual de retorno sobre o investimento inicial, indicando o quanto o investidor ganha em relação ao que aplicou. Um ROI de **191,39%** significa que o projeto gera quase o triplo do valor investido (capital investido + 191% de retorno). É um desempenho excelente, mostrando que a rentabilidade supera em muito padrões médios de mercado e até de outros investimentos financeiros tradicionais.

Conclusão

A análise evidencia que o projeto Blockchain transcende a métrica financeira tradicional, proporcionando retornos múltiplos: econômicos, ambientais, sociais e reputacionais. O ROI financeiro positivo confirma a viabilidade do investimento, enquanto os retornos intangíveis consolidam a estratégia da COAMO frente às exigências do mercado internacional e da agenda ESG. Dessa forma, a solução proposta não apenas garante conformidade, mas também se configura como um vetor de inovação e competitividade sustentável.

- O Valor Presente Líquido positivo mostra geração de valor em termos absolutos.
- O Índice de Lucratividade > 1 confirma a atratividade e eficiência do investimento.
- O Retorno Sobre o Investimento elevado reforça que a taxa de retorno é muito superior à média, indicando ótima decisão de investimento.

4. REFLEXÕES E DISCUSSÃO

Com base na modelagem da solução proposta, foi possível projetar os principais resultados esperados da implementação da rastreabilidade da cadeia produtiva da soja e do milho com o uso da tecnologia Blockchain. Esses resultados foram organizados a partir das diferentes fases do processo produtivo e logístico, e validados em alinhamento com os requisitos regulatórios e as expectativas de mercado.

Um dos principais resultados esperados é a garantia de rastreabilidade e transparência desde o início do processo produtivo, com destaque para a etapa de validação ambiental. O sistema da cooperativa realiza uma análise geoespacial automatizada com base em dados do CAR e em bases públicas oficiais como PRODES, IBAMA e CNUC, classificando a propriedade como conforme, pendente ou não conforme. Essa validação digital inicial se torna o primeiro registro na Blockchain, conferindo legitimidade e confiabilidade à trilha de rastreabilidade. Como reforçam Costa et al. (2021), o uso de validações automatizadas e georreferenciadas aumenta a robustez dos sistemas de rastreabilidade, além de mitigar riscos legais e reputacionais.

Outro resultado relevante é a consolidação de um histórico digital imutável e auditável das operações agrícolas, desde o plantio até o embarque do produto final. Dados como o uso de insumos, práticas agrônômicas, produtividade por talhão, classificação técnica e segregação de cargas são registrados ao longo do processo e organizados de forma estruturada. Esses dados não apenas fortalecem a governança técnica e operacional, como também contribuem para o cumprimento de exigências internacionais, como o EUDR.

Além da confiabilidade dos registros, projeta-se a geração de relatórios de rastreabilidade reversa, acessíveis via portal digital, permitindo que os clientes finais verifiquem a origem dos produtos, a conformidade ambiental das propriedades e os resultados laboratoriais por lote comercializado. Essa funcionalidade fortalece a transparência, o relacionamento com stakeholders e a capacidade de resposta da cooperativa frente a auditorias e certificações como ISCC, RTRS e GMP+ (Good Manufacturing Practices).

Outro resultado projetado é o uso de contratos inteligentes para automatizar validações e notificações operacionais, como bloqueio de cargas irregulares, verificação automática de conformidade, disparo de alertas e emissão de relatórios vinculados à produção. Conforme apontado por Moura et al. (2020), esses mecanismos são fundamentais para a governança digital de cadeias produtivas sustentáveis.

A seguir, a Tabela 2 apresenta os principais benefícios esperados com a implementação da solução, organizados por dimensão estratégica e acompanhados dos respectivos indicadores de monitoramento:

TABELA 4 – BENEFÍCIOS ESPERADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA RASTREABILIDADE COM BLOCKCHAIN

Dimensão	Benefício Esperado	Indicador Associado
Conformidade legal	Atendimento ao EUDR e outras legislações ambientais	% de propriedades com status "conforme"
Acesso a mercados	Comercialização de produtos certificados	% do volume exportado com certificação sustentável
Eficiência operacional	Automatização de registros e validações	Nº de eventos validados via smart contracts
Transparência e confiança	Disponibilização de trilha completa da produção ao cliente final	Nº de acessos ao portal de rastreabilidade
Reputação institucional	Reconhecimento da cooperativa como empresa inovadora e sustentável	Avaliações em auditorias ou certificações externas

Fonte: Os autores (2025).

A análise dos benefícios mostra que a adoção da tecnologia Blockchain representa mais do que um ganho operacional; trata-se de uma transformação estratégica, com impactos diretos na reputação, acesso a mercados regulados e sustentabilidade institucional. A visibilidade digital completa da jornada produtiva cria um diferencial competitivo relevante, especialmente em contextos de comercialização com exigências ambientais rigorosas.

4.1. VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA

Embora o principal retorno do projeto seja de natureza ambiental, social e institucional, avaliou-se também sua viabilidade econômico-financeira. O investimento inicial estimado para a implementação da solução Blockchain é de R\$ 4 milhões, considerando infraestrutura, integração de sistemas e capacitação.

Com base no volume exportado em 2024 para países da União Europeia, projeta-se a possibilidade de agregar um prêmio de US\$ 1,00 por tonelada de farelo de soja exportado com certificação de rastreabilidade ambiental. Considerando a taxa de câmbio média de R\$ 5,73, esse prêmio gera uma receita potencial de aproximadamente R\$ 7,9 milhões em apenas um ciclo anual de comercialização.

Aplicando-se métricas financeiras tradicionais, observa-se que os três indicadores analisados convergem para um mesmo diagnóstico: desde que se consiga obter o valor de US\$ 1,00 por tonelada de farelo exportado com rastreabilidade ambiental, o projeto é

economicamente sólido, financeiramente rentável e estrategicamente vantajoso. Sua implementação tem elevado potencial de retorno e geração de valor para a organização, justificando plenamente a decisão de investimento.

4.2. LIMITAÇÕES E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO

Apesar dos resultados e retornos projetados, reconhecem-se também as limitações atuais da proposta, como a necessidade de interoperabilidade com sistemas legados, capacitação técnica das equipes envolvidas, definições regulatórias sobre validade legal de registros distribuídos e resistência à mudança organizacional. Tais desafios serão enfrentados por meio de um plano de implementação gradual, com unidade-piloto, indicadores de progresso e mecanismos de avaliação contínua.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente pressão por conformidade ambiental, rastreabilidade e transparência nas cadeias agroindustriais impõe desafios relevantes às cooperativas brasileiras, especialmente diante de novas regulamentações internacionais como o EUDR e das exigências crescentes por práticas ESG. Este trabalho apresentou uma proposta de solução baseada na tecnologia Blockchain para rastrear de forma segura, imutável e auditável a cadeia produtiva da soja e do milho, desde a origem da propriedade rural até o destino final no mercado interno e externo.

Como principal contribuição, foi estruturado um modelo integrado que parte da validação ambiental automatizada da propriedade e avança por todas as etapas do processo produtivo, incluindo o plantio, aplicação de insumos, colheita, entrega, classificação, industrialização e comercialização. Cada uma dessas fases foi modelada para gerar registros digitais padronizados, validados internamente e posteriormente convertidos em blocos criptográficos inseridos na rede Blockchain da cooperativa.

Esse modelo digital tem o potencial de oferecer transparência plena, rastreabilidade reversa e confiança para os stakeholders envolvidos — desde os cooperados e auditores até os clientes nacionais e internacionais. Com base nos resultados projetados, espera-se que a solução permita o atendimento pleno a auditorias e certificações, o fortalecimento da imagem

institucional da cooperativa como referência em sustentabilidade e a manutenção da competitividade em mercados exigentes, sem comprometer margens ou acesso comercial.

Do ponto de vista técnico, o trabalho contribui com uma abordagem prática e aderente à realidade operacional da cooperativa, detalhando fluxos, responsabilidades, eventos rastreáveis, estrutura de dados e indicadores de sucesso. Foram mapeados riscos e estratégias de mitigação, além de definidos parâmetros de governança da informação e interoperabilidade com sistemas existentes.

A proposta está fundamentada em autores como Tapscott e Tapscott (2016), Costa et al. (2021), Silva e Pereira (2023) e Moura et al. (2020), que reforçam o papel da Blockchain como instrumento de transformação na gestão de cadeias produtivas agrícolas, sobretudo em contextos regulatórios cada vez mais rigorosos.

5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Durante a análise e estruturação da proposta, foram identificadas possibilidades relevantes de continuidade e aprofundamento do tema. Algumas sugestões de trabalhos futuros incluem:

- Avaliar a aplicação da solução em outras cadeias produtivas sensíveis à rastreabilidade, como café;
- Estudar a integração da Blockchain com certificações internacionais como ISCC (International Sustainability and Carbon Certification), RTRS (Round Table on Responsible Soy) e GMP+ de forma automatizada;
- Analisar o uso de smart contracts para automatização de processos comerciais e emissão de relatórios em tempo real;
- Investigar o potencial da interoperabilidade entre redes Blockchain distintas para trocas entre empresas e instituições reguladoras;
- Testar, em ambiente piloto, a resposta do sistema a auditorias externas com dados simulados e diferentes níveis de granularidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPA. **Sistema Abrapa de Identificação (SAI)**. 2022. Disponível em: <https://abrapa.com.br>. Acesso em: 20 abr. 2025.

ANDRÉ, L. F. et al. **Blockchain: fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2021.

COAMO Agroindustrial Cooperativa. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. Campo Mourão: COAMO, 2024.

COSTA, E. M. R. et al. **Blockchain no agronegócio: uma revisão sistemática sobre rastreabilidade e sustentabilidade**. *Revista Brasileira de Gestão e Inovação*, v. 12, n. 3, p. 418–435, 2021.

ESG INSIGHTS. **Entenda as novas exigências da União Europeia para importação de produtos agrícolas**. 2023. Disponível em: <https://esginsights.com.br/ue-importacao-agricola/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Deforestation Regulation (EUDR)**. 2023. Disponível em: <https://ec.europa.eu>. Acesso em: 15 abr. 2025.

MOURA, F. R. et al. **Aplicações da tecnologia Blockchain na rastreabilidade de cadeias produtivas**. *Revista de Tecnologia Aplicada*, v. 9, n. 1, p. 45–58, 2020.

PMI – Project Management Institute. **Guia Ágil: Um Guia para o Conhecimento em Gerenciamento Ágil de Projetos**. 1. ed. São Paulo: Project Management Institute, 2017.

SANTOS, G. C.; FERREIRA, T. A. **Rastreabilidade agrícola com Blockchain: estudo de caso em cooperativa de soja no Brasil**. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 6, n. 2, p. 55–64, 2022.

SILVA, M. C. da; PEREIRA, A. F. **Blockchain e certificações agrícolas: integrando tecnologia e sustentabilidade**. *Revista Brasileira de Agroinformática*, v. 10, n. 1, p. 30–42, 2023.

TAPSCOTT, D.; TAPSCOTT, A. **Blockchain Revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world**. New York: Portfolio Penguin, 2016.