

# UFVBeefChain: Estudo de Caso da Rastreabilidade da Carne no Frigorífico Escola da UFV com Blockchain

Ronan D. Mendonça<sup>1</sup>, Josué N. Campos<sup>1</sup>, Hiago H. R. Zanetoni<sup>4</sup>,  
Andre L. de F. Coelho<sup>3</sup>, Daniel M. Queiroz<sup>3</sup>, Alex B. Vieira<sup>2</sup>, José A. M. Nacif<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Campus UFV-Florestal  
Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Florestal, MG – Brasil

{ronan.dutra, josue.campos, jnacif}@ufv.br, alex.borges@ufjf.edu.br

<sup>2</sup>Departamento de Informática  
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – Juiz de Fora, MG – Brasil

{alex.borges}@ufjf.edu.br

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Viçosa, MG – Brasil

{andre.coelho, queiroz}@ufv.br

<sup>4</sup>Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas  
Universidade Federal de Rondonópolis (UFR) – Rondonópolis, MT – Brasil

{hiago.zanetoni}@ufr.edu.br

**Abstract.** *This paper introduces UFVBeefChain, a case study conducted at the Teaching Slaughterhouse of the Federal University of Viçosa (UFV), applying Blockchain technology to beef traceability. The study emphasizes traceability as a tool for food safety, transparency, and consumer trust, while pointing out the limitations of traditional centralized systems. The proposed architecture integrates IoT sensors, smart contracts, and a decentralized application (dApp) to record data from farm to commercialization, including birth, vaccination, slaughter, meat cuts, and storage information. Consumers can access this data through a Quick Response Code (QR code), ensuring the immutability and reliability of records. The case study with nine animals confirmed the technical feasibility of the solution, highlighting Blockchain's potential to modernize and secure the beef production chain.*

## 1. Introdução

Atualmente, cada vez mais, consumidores buscam conhecer a origem do alimento comprado, como ele foi obtido, os impactos gerados durante seu processo de produção, bem como se determinado alimento é seguro e confiável para o consumo [Vital et al. 2018]. Por meio da rastreabilidade, é possível identificar o histórico dos alimentos, desde a produção da sua matéria-prima, armazenamento, transporte e qualquer processamento ocorrido até a venda para o consumidor final [Corallo et al. 2018]. Além disso, a rastreabilidade pode ser utilizada por órgãos e entidades reguladoras para inspeção de qualidade e certificação dos alimentos. Dessa maneira, conforme [Olsen et al. 2019], a rastreabilidade pode ser definida como a capacidade de acessar qualquer tipo de informação relativa

ao produto considerado, ao longo de todo seu ciclo de vida, por meio de um banco de informações registradas. A rastreabilidade é considerada uma ferramenta de monitoramento eficaz, confere maior segurança de informações acerca de um produto, age como um diferenciador de mercado, conseqüentemente, eleva o nível de confiança dos consumidores [Kher et al. 2010].

No contexto brasileiro, a rastreabilidade da carne bovina apresenta desafios específicos relacionados às exigências do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e às normas de exportação para mercados internacionais. Diferentemente de outros países, o Brasil possui uma cadeia produtiva altamente fragmentada, o que aumenta a complexidade da integração de dados. Outrossim, a rastreabilidade da carne bovina vem sendo valorizada pelos consumidores, uma vez que desejam conhecer a origem do animal, local de processamento e os métodos de transformações ocorridos durante o processo produtivo [Loureiro and Umberger 2007]. Em adição, o consumidor visa buscar informações qualitativas sobre a carne e há quanto tempo o produto se encontra disponível para comercialização [Junejo et al. 2021]. Em contrapartida, a credibilidade dos efeitos da rastreabilidade pode ser reduzida se o sistema de armazenamento das informações for centralizado, como, por exemplo, o uso de um banco de dados, visto que dessa forma, a transparência do processo não é conferida totalmente, pelo fato das informações estarem sujeitas a intervenções externas e passíveis de alterações e/ou exclusões [Agrawal and Mishra 2012].

Nesse sentido, a tecnologia Blockchain torna-se uma alternativa promissora para agregar à confiabilidade dos consumidores. A Blockchain é definida como uma rede descentralizada de blocos interligados e imutáveis, sendo utilizada para registrar transações, rastrear ativos e, por fim, aumentar a confiança dos seus utilizadores. Em razão da existência da característica de imutabilidade dos dados, a necessidade de intermediadores externos para manipulá-la é dispensada, assim como os blocos são impossibilitados de serem excluídos e alterados uma vez minerados. Sendo assim, nós decidimos utilizar esta emergente tecnologia, a fim de sanar questões como a centralidade dos dados, preocupações com intervenções externas e o risco de alterações nos dados.

A tecnologia Blockchain tem um potencial comprovado para garantir a rastreabilidade das cadeias de produção agroalimentares, incluindo a carne bovina, por meio do registro de transações permanentes, conforme avaliado por estudos recentes [Caro et al. 2018], [Galvez et al. 2018] e [Hua et al. 2018] que sugerem a utilização da rede Blockchain para rastrear alimentos e armazenar informações de operações, incluindo as operações agropecuárias. [Lee et al. 2017] revela o emergente potencial da tecnologia Blockchain em se tornar a ferramenta de rastreamento dos produtos alimentares, incluindo a carne bovina, podendo fornecer uma solução eficiente, transparente e segura. [Chang et al. 2020] aponta uma alta perspectiva de crescimento do uso da Blockchain na gestão de diversas cadeias de produção de alimentos, e isso deverá impactar positivamente nos lucros das partes envolvidas até o ano de 2023.

Diferentemente dos métodos convencionais de rastreabilidade, que possuem o gerenciamento centralizado das informações, expondo assim o sistema à corrupção e ao significativo custo de implantação, a tecnologia Blockchain pode ser usada para rastrear os alimentos e armazenar as informações de forma descentralizada, com segurança, facilidade, agilidade e custo reduzido [Yiannas 2018]. Tendo em vista o aumento significativo

no uso da rede Blockchain em relação aos sistemas tradicionais de rastreabilidade, devido à sua transparência, integridade e robustez dos dados armazenados, o presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma aplicação utilizando a rede Blockchain para a rastreabilidade da carne bovina proveniente do frigorífico Escola da Universidade Federal de Viçosa, visando analisar a viabilidade e o custo para essa operação. O foco do nosso trabalho não é armazenar dados na Blockchain como um banco de dados comumente é utilizado, visto que o custo deste feito é inviável, mas objetivamos utilizar a Blockchain como forma de garantia de que todo o processo produtivo da carne possa ser comprovado por meio dos registros de transações imutáveis na rede.

O restante deste artigo tem a seguinte organização. Na Seção 2 são apresentados os principais conceitos para o entendimento deste trabalho, sendo eles a indústria frigorífica e a tecnologia Blockchain. Apresentamos na seção 3 os trabalhos relacionados no uso de Blockchain para rastreabilidade. Na seção 4 definimos os requisitos para a rastreabilidade de produtos alimentícios. Já na seção 5 descrevemos a arquitetura da aplicação desenvolvida como solução para a rastreabilidade. Na Seção 6 mostramos nossa metodologia e conduzimos avaliações experimentais, considerando o modelo proposto para o estudo de caso. Ainda nesta seção, discutimos nossos resultados e trabalhos futuros. Por fim, na seção 7 apresentamos nossas considerações finais.

## **2. Indústria frigorífica e Blockchain**

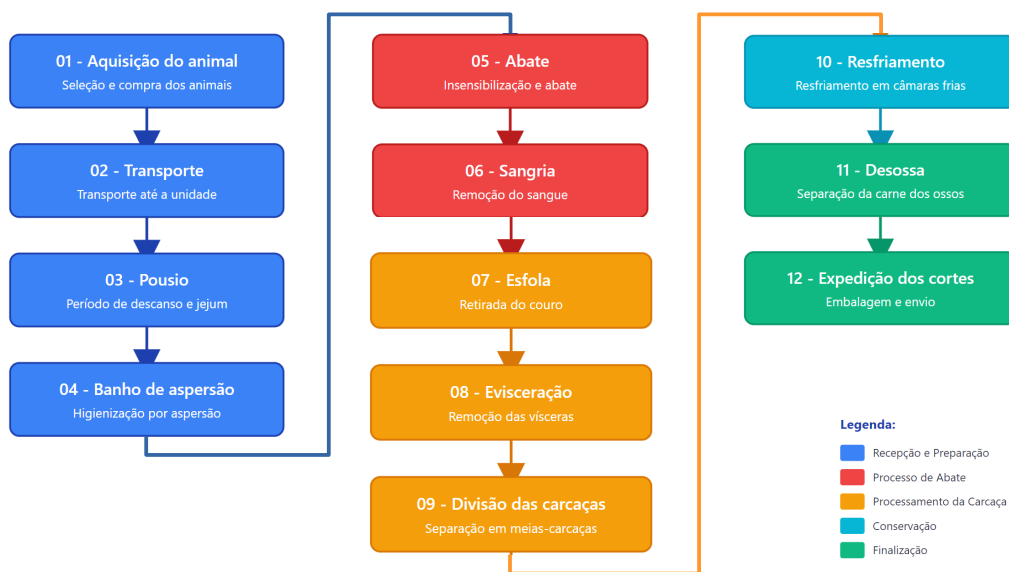
### **2.1. Indústria frigorífica**

As indústrias frigoríficas são as empresas que normalmente atuam no abate de animais destinados ao consumo humano, dotadas de completas instalações e equipamentos adequados para o abate, manipulação, preparo e conservação dos cortes cárneos, em variadas formas, com aproveitamento completo e racional dos produtos e subprodutos gerados. A tecnologia do abate de animais somente deteve importância científica quando se observou que os eventos ocorridos desde a propriedade rural até o abate do animal apresentavam grande importância na qualidade da carne [Amaral 2010].

De acordo com a Figura 1, as etapas de abate de bovino estão descritas, desde a aquisição do animal até a expedição dos cortes cárneos. No funcionamento da indústria frigorífica existem etapas pré- e pós-abate do animal. No pré-abate, ocorrem a aquisição e o transporte do animal até a indústria. Na indústria, os animais são submetidos a um pouso, tempo de descanso e aclimação do lote a ser abatido. Após abatidos, ocorre a etapa de sangria, com retirada de aproximadamente 60% do volume de sangue do animal abatido, seguida da esfolação, que consiste na retirada do couro do animal, e por último ocorre a retirada das vísceras do animal, etapa chamada de evisceração. Após isso, o animal é partido ao meio e resfriado por um determinado período em câmara fria, para a retirada e divisão dos cortes cárneos e, posteriormente, a embalagem e expedição dos mesmos.

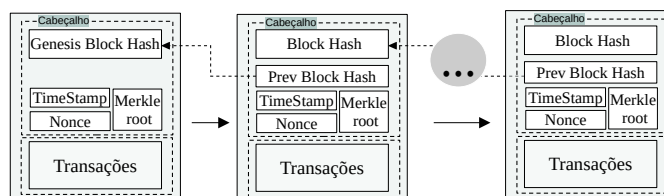
### **2.2. Blockchain**

Blockchain é uma tecnologia de registro distribuído que funciona como um banco de dados descentralizado e imutável, estruturado em blocos encadeados cronologicamente. Cada bloco contém um conjunto de transações e está ligado ao anterior por meio de hashes



**Figura 1. Fluxograma básico do funcionamento de uma indústria frigorífica de abate de bovinos.**

criptográficos, o que garante a integridade das informações. As informações ficam organizadas nesses blocos encadeados que são uma estrutura para inclusão de dados na blockchain e contêm cabeçalho e uma lista de transações conforme ilustra a Figura 2. O primeiro bloco criado é denominado “*genesis block*”. Cada bloco é identificado por um *hash* criptográfico estampado no cabeçalho do bloco e faz referência a um bloco anterior por meio do campo “*previous block hash*”. Uma plataforma de rede blockchain é mantida por diversos nós que validam e armazenam cópias do registro, eliminando a necessidade de uma autoridade central. Suas principais características são a descentralização, a transparência, a imutabilidade e a segurança, obtidas por meio de mecanismos automatizados que inferem consenso na veracidade das transações [Gordon and Catalini 2018].



**Figura 2. Cadeia de blocos.**

Dentro dessa estrutura surgem os contratos inteligentes, que são contratos digitais programados em código e implantados na blockchain. Eles executam automaticamente cláusulas pré-definidas quando determinadas condições são atendidas, sem depender da intervenção do usuário. São escritos em linguagens específicas, como Solidity, e uma vez registrados, tornam-se públicos e imutáveis. Os contratos inteligentes oferecem vantagens como redução de custos, rapidez e maior segurança jurídica, mas também apresentam desafios, como a dificuldade de alteração após implantação, a necessidade de auditoria de código e debates sobre sua validade legal [Hewa et al. 2021].

### **3. Trabalhos Relacionados**

Com o sucesso emergente da tecnologia Blockchain no mercado financeiro, várias organizações e produtores visam aproveitar a transparência e a segurança envolvidas no fluxo de informações e têm empregado essa tecnologia na cadeia produtiva de alimentos, a fim de favorecer o processo de rastreabilidade [Manski 2017]. Essa empregabilidade perpassa vários produtos de origem agropecuária, como leite, carne bovina e ovos.

O artigo [Mendonça et al. 2020] apresenta uma arquitetura baseada em blockchain para rastrear a cadeia produtiva do leite, visando maior transparência, confiabilidade e segurança dos dados coletados em cada etapa do processo. A solução integra sensores IoT, contratos inteligentes e aplicações móveis para registrar e disponibilizar informações sobre captação, transporte, armazenamento e distribuição do leite. Os experimentos realizados com redes privadas Ethereum demonstraram tempos de resposta baixos e filas de espera pequenas, indicando viabilidade técnica para uso em rastreabilidade, embora a escalabilidade ainda precise ser melhor avaliada. Assim, o estudo confirma que a blockchain pode fortalecer a confiança do consumidor e otimizar a gestão da cadeia de suprimentos de laticínios.

Os autores [Hamidi 2021] desenvolveram esse estudo na Malásia, no ano de 2021. Onde os autores preocupados com a segurança e qualidade da carne bovina consumida pela população em estudo propuseram o uso da tecnologia Blockchain na cadeia produtiva de carne bovina a fim de garantir a transparência total do processo de produção de carne bovina, a fim de fortalecer a confiança dos consumidores no produto consumido e garantir uma carne bovina saudável e livre de contaminações. Uma aplicação então é desenvolvida, obedecendo aos princípios do Blockchain, e testada em escala comercial. O presente estudo destaca a viabilidade da tecnologia Blockchain para rastreio da carne e garante uma implantação de um sistema de rastreabilidade transparente, fácil e acima de tudo seguro.

Segundo o trabalho [RAMBIM and AWUOR 2020], a cadeia produtiva do leite possui grande importância econômica no Quênia, país do continente africano, movimentando 4% do PIB do país. A maior parte da produção de leite é de pequenos produtores; estes contam com um ponto de coleta e resfriamento do produto coletivo. Neste trabalho os autores desenvolveram com base na tecnologia Blockchain um sistema de registro da entrega do leite produzido nos pontos de coleta e resfriamento, a fim de garantir transparência, confiabilidade e justiça no pagamento do leite aos produtores. A plataforma foi desenvolvida centrada no perfil dos produtores, a fim de evitar terceiros envolvidos no processo.

[Bumblauskas et al. 2020] No Centro-Oeste dos EUA, os autores discutiram as aplicações da tecnologia Blockchain durante todas as etapas de uma cadeia de produção de ovos. O principal objetivo deste estudo foi o monitoramento dos ovos da fazenda ao cliente via Blockchain com o auxílio da Internet das Coisas (IoT); foi desenvolvido um projeto piloto e então aplicado na cadeia de produção. Visando proporcionar mais rastreabilidade na cadeia produtiva, para que o cliente obtenha informações relacionadas aos ovos, reduzindo o risco de recalls de alimentos, fraudes e danos ao produto. Os consumidores neste estudo poderão escanear um QR-code na embalagem do produto e acessar os dados referentes a todas as etapas da cadeia de produção dos ovos.

A tecnologia Blockchain se mostra promissora no ramo da rastreabilidade de alimentos de origem agropecuária, mesmo perante a grande complexidade das cadeias produtivas deste setor, visto que a tecnologia pode abranger a cadeia de forma completa e segura, retornando informações claras. Apesar do grande potencial, existem ainda poucos trabalhos realizados em nosso país envolvendo a utilização da tecnologia Blockchain na rastreabilidade de produtos de origem agropecuária.

#### **4. Requisitos para Rastreabilidade da Carne**

A rastreabilidade de uma cadeia produtiva proporciona segurança e evita a entrada de produtos sem qualidade no mercado. Ela facilita a identificação de etapas fora da normalidade, auxilia na implantação rápida de medidas de contenção e na atribuição de responsabilidades [Chapaval and Alves 2008]. Quanto melhor a qualidade do sistema de rastreamento, maior é a agilidade na identificação e solução de problemas de segurança e qualidade pelos envolvidos [Golan et al. 2004].

Embora existam muitos modelos e estruturas para rastreabilidade alimentar, o índice de implantação nas cadeias produtivas ainda é relativamente baixo, uma vez que estes sistemas de rastreabilidade são dependentes de um banco de dados, que permite armazenar e consultar as informações. Os bancos de dados digitais para rastreabilidade possuem um custo de implementação, operação e manutenção, que requer investimento financeiro e mão de obra qualificada [MODULE 2017]. E também, a credibilidade da rastreabilidade pode ser reduzida se esse sistema de armazenamento for centralizado, o que não confere total transparência [Scholten et al. 2016]. Em contrapartida aos métodos convencionais de registro de dados, que possuem gerenciamento centralizado, expondo os dados relativos à cadeia de produção a riscos de violação e alto custo de implantação, a tecnologia blockchain pode ser usada para rastrear os produtos alimentícios e armazenar as informações com facilidade, agilidade, segurança e menor custo [Yiannas 2018].

Atualmente, alguns consumidores exigem transparência, confiabilidade e rastreabilidade das informações referentes à cadeia produtiva e consideram a rastreabilidade como um atributo de sustentabilidade [Burnier et al. 2021]. A rastreabilidade da carne bovina é muito valorizada pelos consumidores, uma vez que é essencial conhecer a origem do animal e os processos de transformações ocorridos ao longo da cadeia produtiva [Loureiro and Umberger 2007]. Isso tem feito com que o grau de adoção de sistemas de rastreabilidade nas cadeias de produção de alimentos venha crescendo.

A rastreabilidade da cadeia produtiva da carne deve se dar em todos os elos, desde a fazenda, visto como o local de nascimento e criação do animal, passando pelo local de terminação deste animal, pela indústria frigorífica e pela comercialização da carne do animal, até o mercado. Quando o produto chega ao consumidor final, um relatório contendo todas as informações ocorridas com o animal ao longo da cadeia produtiva deve estar acessível. As informações da cadeia devem ser catalogadas e registradas no fluxo definido pelo contrato que abrange desde a fazenda até a comercialização. A Tabela 1 lista as informações que devem ser inseridas de acordo com os atores da cadeia produtiva. Essas informações devem ficar disponíveis e serem acessadas pelo consumidor, através de um QR-code, fixado por uma etiqueta plástica, na fase de embalagem do corte cárneo.

**Tabela 1. Atores e as respectivas informações inseridas por cada parte no sistema de rastreabilidade.**

Atores	Informações inseridas
Fazenda	Número de identificação do animal
	Raça do animal
	Data de nascimento do animal
	Peso do animal ao nascer
	Vacinas administradas ao animal (data, lote e dose de aplicação)
	Informe de castração animal
	Tipo do sistema de terminação do animal(local e data de início)
	ITU (índice de temperatura e umidade do local de terminação do animal)
	Ganho de peso animal durante sua terminação
Indústria frigorífica	Data e local do abate
	Idade do animal abatido
	Peso do animal abatido
	pH da carne (0 horas e 24 horas após o abate)
	Pesos de carcaças
	Gordura subcutânea
	Parâmetros de cor da carne e da gordura
	Tipo e peso do corte cárneo
Comercialização	Data da embalagem
	Temperatura de armazenamento do corte cárneo

## 5. UFVBeefChain: Arquitetura para Rastreabilidade da Carne

Nesta seção estão discutidos os conceitos associados ao funcionamento interno da aplicação UFVBeefChain, no que diz respeito ao rastreamento da carne, bem como à utilização da rede Blockchain. A aplicação foi registrada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) sob o pedido de número BR512022002778-0<sup>1</sup>.

A aplicação UFVBeefChain foi implementada utilizando contratos inteligentes desenvolvidos em Solidity. Esses contratos possuem funções específicas para registro de eventos, como nascimento, vacinação, abate e comercialização. Cada transação é vinculada ao identificador único do animal, armazenado em uma estrutura de dados que garante imutabilidade e rastreabilidade. Optou-se por um contrato inteligente geral para a plataforma, no qual cada animal é representado por um identificador único. Essa escolha reduz custos de implantação e facilita a escalabilidade, evitando a necessidade de múltiplos contratos individuais.

A Figura 3 apresenta a arquitetura completa do sistema. Ela envolve desde a captação de dados automatizados por sensores, o módulo Back-end responsável pelo cadastro, armazenamento e disponibilização de acesso aos dados, o módulo Front-end responsável pela inserção e consulta de dados pelo consumidor e o módulo Blockchain que contempla a forma de acesso à mesma e o contrato inteligente.

A arquitetura baseia-se no seguinte funcionamento: Durante o processo produtivo da carne, isto é, desde o nascimento do animal até a venda da peça de carne, são armazenados todos os dados necessários das entidades participantes deste processo para garantir a confiança do consumidor. Este armazenamento se dá pela utilização de uma Aplicação

<sup>1</sup> <https://busca.inpi.gov.br/pePI/jsp/programas/ProgramaSearchBasico.jsp>

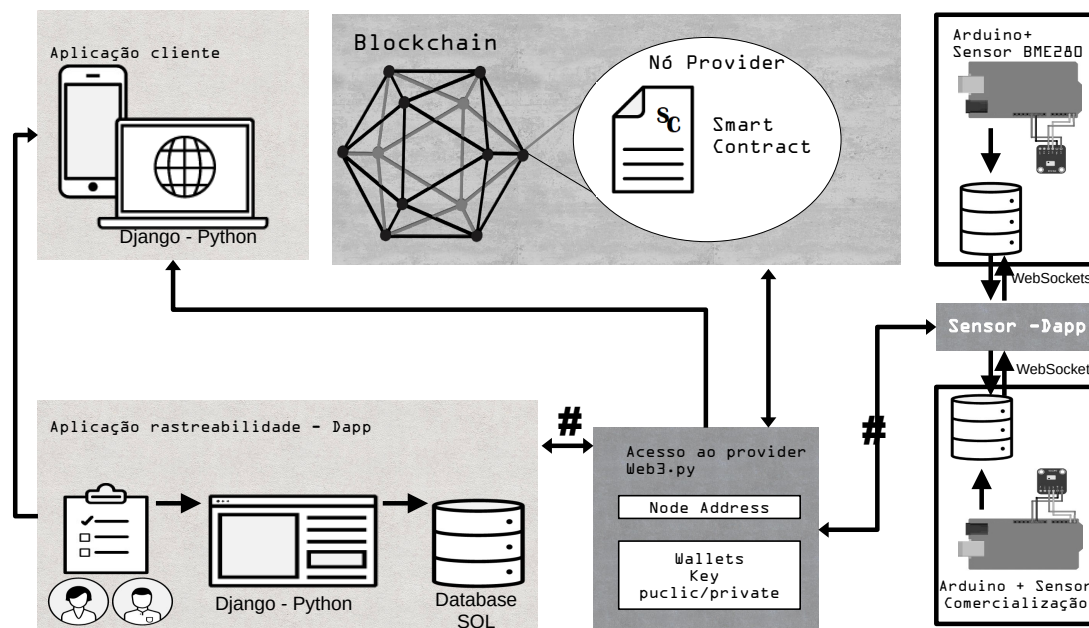


Figura 3. Arquitetura completa do sistema de rastreabilidade de carne.

Descentralizada (dApp) desenvolvida em conjunto a uma interface para o ambiente Web, em que são utilizadas tecnologias para o Front-end como o HTML5, CSS3, jQuery e Bootstrap para a interação dos usuários com as telas e o cadastro das informações, além de tecnologias para o Back-end como Django Framework, Python, Web3 e Celery, voltadas para o recebimento dos dados inseridos e envio dos mesmos para a Blockchain. Adicionalmente, é utilizado um banco de dados MySQL para armazenar os identificadores de cada dado inserido na Blockchain, apenas para fins de consulta no momento em que o consumidor final desejar visualizar os dados da peça de carne adquirida.

Após o cadastro das informações, o Back-end é responsável por receber todos os dados e transmiti-los para a Blockchain, por meio de bibliotecas Web3, que propõem um conjunto de métodos para gerenciar interações com uma rede Blockchain. Vale ressaltar que neste trabalho foi utilizada uma rede de teste Ethereum. Durante esta interação entre a Web3 e a rede Blockchain, a biblioteca Celery é acionada para lidar com esta interação de forma assíncrona, já que esta biblioteca provê recursos para escalonamento de tarefas que demandam tempo de processamento maior e pelo fato de o tempo de resposta ser relativamente alto ao lidar com transações em Blockchain.

No que diz respeito aos dados coletados automaticamente, como a temperatura de conforto do animal e a temperatura de armazenagem da embalagem, são utilizados dois sensores, um de temperatura e outro de umidade relativa do ar BME280 (fabricados por Bosch Sensortec, Alemanha), ambos conectados às placas de desenvolvimento ESP8266. Estes dados de temperatura e umidade são armazenados no banco de dados do dispositivo IOT e, posteriormente, inseridos no cadastro automaticamente para envio das informações para a Blockchain. No banco de dados, os dados de cadastro são armazenados apenas para verificar se houve alguma alteração indevida, garantindo assim que a Blockchain poderá ser utilizada como forma de verificação imutável dos dados. Logo, a Blockchain fica responsável por receber os dados criptografados por meio de *hashs*, sendo que, para verificar

se um dado no banco de dados foi realmente alterado, basta codificarmos o suposto dado alterado com o mesmo *hash* e verificarmos a igualdade.

Para garantir a confiabilidade dos dados de entrada, foram considerados mecanismos de segurança aplicados aos sensores IoT. Entre eles, destacam-se a autenticação por certificados digitais, a assinatura criptográfica das leituras e a redundância de medições para detectar inconsistências. Esses mecanismos permitem que o sistema identifique falhas de sensores ou tentativas de adulteração, assegurando que apenas dados válidos sejam registrados na blockchain.

Finalmente, na rede Blockchain é utilizado um contrato inteligente que provê as funcionalidades de armazenar os dados criptografados, assim como restringe o uso de tais métodos, garantindo a segurança e confiabilidade de sua utilização. Por meio deste contrato inteligente, a biblioteca Web3 é capaz de realizar as transações na rede. Ademais, a aplicação cliente fica a cargo de consultar os dados por meio deste contrato, que por sua vez irá retornar os resultados, possibilitando à aplicação comparar os dados recebidos com os dados armazenados no banco de dados, oferecendo ao consumidor final o resultado de tal comparação, ou seja, se houve alteração nos dados ou não. A Figura 4 é exibida como uma fonte de alerta ao consumidor em caso de não concordância dos dados apresentados e dos que foram registrados durante todo o processo de rastreabilidade.



**Figura 4. Selos de verificação exibidos aos consumidores durante o processo de consulta dos dados.**

A arquitetura prevê mecanismos de tolerância a falhas, como a replicação de dados em múltiplos sensores e a verificação cruzada entre registros locais e blockchain. Em cenários de grande escala, como frigoríficos que processam milhares de animais diariamente, o sistema pode ser expandido por meio de soluções de segunda camada (Layer 2) ou consórcios privados, capazes de lidar com alto volume de transações sem comprometer a segurança ou a transparência.

## **6. Estudo de Caso: Aplicando a Arquitetura UFVBeefChain na Linha de Produção do Frigorífico Escola UFV**

A indústria frigorífica, responsável pelo abate dos animais, pela segregação dos cortes cárneos e pela breve armazenagem, pode ser definida como um sistema agroindustrial altamente tecnificado. O processo da indústria frigorífica de bovinos compreende uma sequência organizada de operações que se inicia no manejo pré-abate, incluindo recepção, descanso e inspeção, seguida pelo abate humanitário com insensibilização e sangria, e avança para o processamento da carcaça, envolvendo etapas como esfolagem, evisceração, divisão da carcaça e inspeção, em conformidade com exigências legais e sanitárias. Posteriormente, as carcaças são submetidas ao resfriamento controlado e à

maturação, processos fundamentais para a estabilidade microbiológica e melhoria das características sensoriais da carne [Lawrie and Ledward 2014], sendo então direcionadas à desossa, padronização de cortes e embalagem sob condições específicas [Ordóñez 2005]. Dessa forma, informações rastreáveis foram extraídas em todos os pontos da sequência operacional da indústria frigorífica. No abate eram registradas informações de data, forma e local de abate, bem como informações pertinentes ao animal, como código identificador e idade. Após abatidas, as carcaças monitoradas com o controle de pH compunham o rol de informações, juntamente com o peso das carcaças. No momento da desossa o peso de cada corte cárneo era registrado, bem como o tipo deste corte. E então, juntamente com a embalagem, o QR-code era fixado no corte cárneo. E após a análise laboratorial de cor e sabor da carne, estes resultados integravam-se ao sistema de rastreabilidade. Após, na etapa de comercialização, a informação registrada era a temperatura de armazenagem, esta registrada de forma autônoma, a fim de registrar a integridade da qualidade do corte cárneo armazenado.

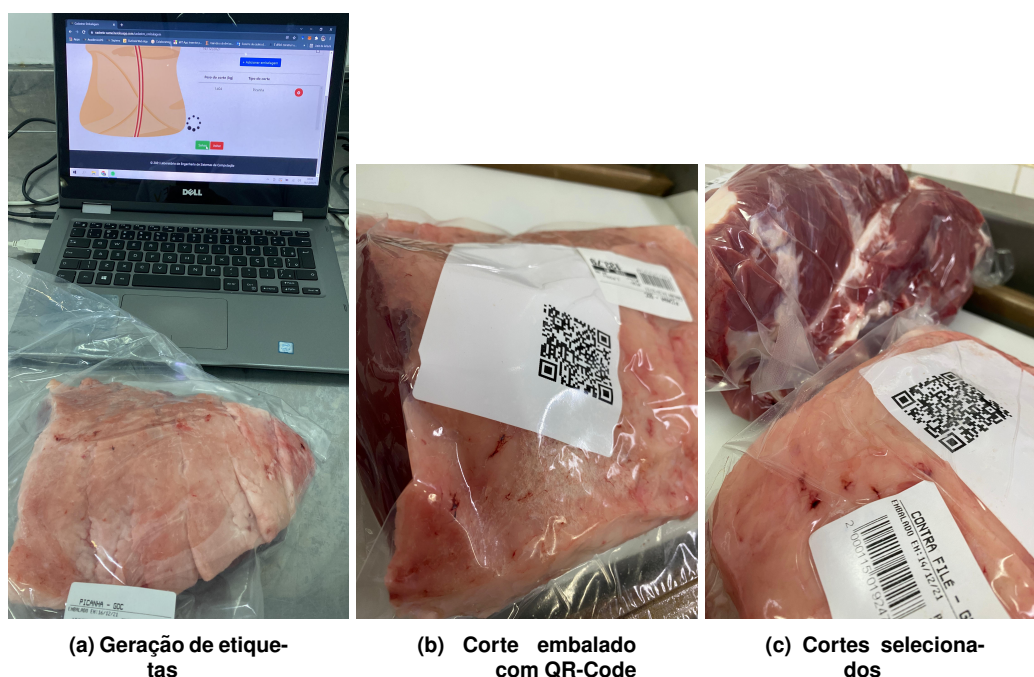
O Estudo de Caso apresentado nesta seção foi realizado considerando a cadeia produtiva da carne bovina produzida na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) Frigorífico Escola, localizada na Universidade Federal de Viçosa, região da Zona da Mata Mineira. Foram acompanhados nove animais para serem abatidos, que compunham um sistema extensivo de produção, ou seja, predominantemente criados a pasto. Para desenvolver o modelo de rastreabilidade baseado em blockchain, foi implementada uma dAPP em um ambiente de desenvolvimento WEB3 e disponibilizada no repositório chamado UFVBeefChain<sup>2</sup>. Esse ambiente de desenvolvimento permite uma melhor interação com o contrato inteligente e um melhor monitoramento do registro de dados. O contrato inteligente foi previamente compilado no ambiente de desenvolvimento Remix (Remix Ethereum, 2021) e posteriormente foi armazenado no blockchain e executado nas transações. O modelo de rastreabilidade teve seu desenvolvimento de acordo com o esquema apresentado na Figura 5. As partes envolvidas na cadeia de produção foram: a fazenda, o frigorífico, a comercialização e os consumidores. Os dados registrados no modelo por cada uma dessas partes também são apresentados na Figura 5.



**Figura 5. Esquema de desenvolvimento do modelo de monitoramento, contendo as partes que integram o contrato inteligente, os dados a serem inseridos por cada uma das partes e a permissão de leitura dos dados pelos consumidores.**

<sup>2</sup>”[https://github.com/JnCM/rastreio\\_carne\\_ufv](https://github.com/JnCM/rastreio_carne_ufv)”

Para registro dos dados na blockchain, o usuário de cada uma das partes envolvidas necessitou de um login válido, criado previamente. O consumidor foi a parte que apenas realizou a leitura dos dados. Esse processo se deu no momento da comercialização da carne, via um QR-code fixado na carne embalada (Figura 6b). Após a leitura dos dados, de maneira opcional, os consumidores preencheram um formulário online, desenvolvido e acessado via Google Forms, uma plataforma gratuita de gerenciamento de pesquisas. Já o custo de implantação do modelo de rastreabilidade desenvolvido foi calculado considerando o custo de todas as transações para registrar os dados referentes aos nove animais abatidos. E então, este convertido em dólar considerando a cotação da moeda Ethereum na data do experimento.



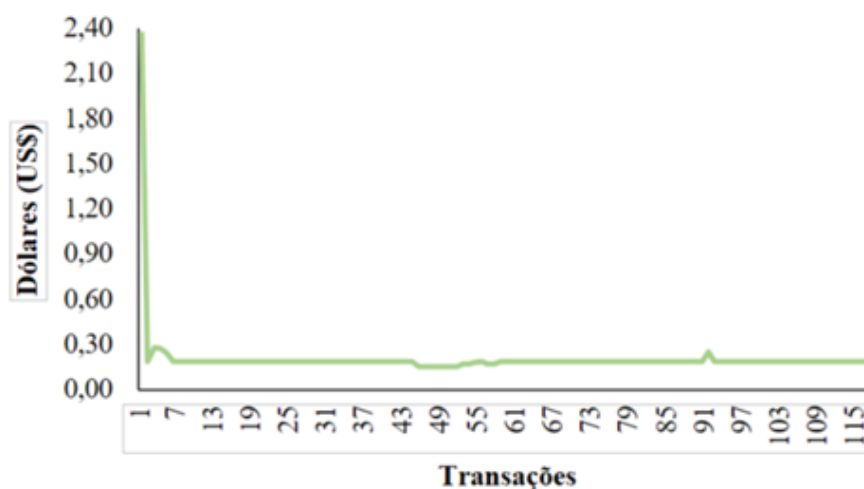
**Figura 6. Processo de etiquetagem por meio do qual os consumidores acessam os dados a respeito da rastreabilidade da peça de carne.**

O produto final (uma peça de carne; Figura 6 b e c) foi etiquetado com um código de barras e dados para leitura do nome da peça e valores de venda, uma outra etiqueta contendo um QR-code, que direciona para uma página da web que o consumidor final pode consultar por meio de seu smartphone. Informações referentes aos animais abatidos e cortes de carne comercializados estão apresentadas na Tabela 2. Observa-se que os nove animais abatidos resultaram em 66 cortes de carne comercializados (filé mignon, contrafilé, fraldinha e picanha), perfazendo um total de 115 transações realizadas para o rastreamento pelo modelo desenvolvido em um período de três dias.

O gráfico da Figura 7 apresenta o custo de registro de cada uma das transações necessárias para a rastreabilidade da carne bovina. Ao todo foram realizadas 115 transações para o armazenamento de todos os dados no blockchain. O valor mais expressivo é a primeira transação, a qual se refere ao registro do contrato inteligente no blockchain, custando 2,38 dólares, 7,90% do custo de implantação. As demais transações são referentes ao registro dos dados pelas partes envolvidas e variam de 0,16 a 0,28 centavos de dólares,

**Tabela 2. Valor total dos dados referentes aos animais abatidos, cortes de carne e ao modelo de rastreabilidade desenvolvido.**

	Valor total
Animais abatidos	9
Transações realizadas	115
Cortes de carne rastreados	66
Massa de carne rastreada (kg)	162,48
Período de comercialização (dias)	3



**Figura 7. Gráfico do custo de implantação do modelo de rastreabilidade desenvolvido em função das transações necessárias para o registro de todos os dados.**

valores inferiores ao valor do registro do contrato inteligente. Esse fato é devido ao volume maior de caracteres que contém o contrato inteligente.

O custo de implantação do modelo de rastreabilidade nessa cadeia produtiva, equivalente ao somatório de todas as transações, considerando os nove animais abatidos, foi de 30,48 US\$. Considerando o dado apresentado na Tabela 2, o custo de implantação do modelo de rastreabilidade foi de 0,19 US\$/kg de carne rastreada. Considerando o valor de comercialização de cada corte de carne, o custo do modelo de rastreabilidade representou 0,35% em relação ao valor de comercialização da fraldinha, 0,45% do contrafilé, 0,76% do filé mignon e 0,86% da picanha. Sendo assim, o custo do modelo de rastreabilidade representa em média 0,60% do valor comercial dos cortes de carne. Um estudo mostra a existência de consumidores dispostos a pagar pela rastreabilidade da carne bovina, porém, esses consumidores buscam por um modelo de rastreabilidade que envolva todas as informações da cadeia produtiva [Shew et al. 2022]. No presente trabalho o modelo de rastreabilidade desenvolvido foi abrangente, abrangendo todas as etapas de produção da carne bovina.

A avaliação experimental incluiu a análise do consumo de gas por função dos contratos inteligentes, revelando custos médios de 45.000 gas para registros de vacinação e 60.000 gas para registros de abate. Considerando a taxa de câmbio USD-ETH vigente

no período da simulação, os custos foram estimados em aproximadamente US\$ 0,12 por transação. Ressalta-se que esses valores representam uma simulação em ambiente de test-net, e que na rede principal os custos podem ser significativamente maiores. Estratégias de otimização, como agrupamento de registros em lote e uso de sidechains, foram identificadas como alternativas viáveis para reduzir despesas.

## 7. Conclusão

O estudo confirma que a utilização da Blockchain na rastreabilidade da carne bovina é uma solução viável, transparente e segura, capaz de superar as limitações dos sistemas centralizados. A aplicação UFVBeefChain demonstrou que é possível integrar dados de diferentes etapas da cadeia produtiva em registros imutáveis, acessíveis ao consumidor final. Essa abordagem fortalece a confiança no produto, contribui para a sustentabilidade e abre caminho para a adoção em larga escala da tecnologia em cadeias agroalimentares, consolidando a rastreabilidade como um diferencial competitivo e uma exigência crescente do mercado. Como trabalhos futuros, recomenda-se ampliar o escopo para frigoríficos de grande porte, integrando o sistema com certificações oficiais de qualidade e bem-estar animal. Além disso, explorar a interoperabilidade com outras plataformas blockchain, visando maior flexibilidade e adoção em diferentes mercados. Estudos adicionais sobre escalabilidade e desempenho em ambientes de alta demanda também devem ser conduzidos, com foco em otimização de custos e robustez da infraestrutura.

## Referências

- Agrawal, M. and Mishra, P. (2012). A modified approach for symmetric key cryptography based on blowfish algorithm. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 1(6):79–83.
- Amaral, P. H. d. (2010). Programas de autocontrole em um matadouro-frigorífico de bovinos.
- Bumblauskas, D., Mann, A., Dugan, B., and Rittmer, J. (2020). A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? *International Journal of Information Management*, 52:102008.
- Burnier, P. C., Spers, E. E., and de Barcellos, M. D. (2021). Role of sustainability attributes and occasion matters in determining consumers' beef choice. *Food Quality and Preference*, 88:104075.
- Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M., and Giaffreda, R. (2018). Blockchain-based traceability in agri-food supply chain management: A practical implementation. In *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture-Tuscany (IOT Tuscany)*, pages 1–4. IEEE.
- Chang, Y., Iakovou, E., and Shi, W. (2020). Blockchain in global supply chains and cross border trade: a critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities. *International Journal of Production Research*, 58(7):2082–2099.
- Chapaval, L. and Alves, F. S. F. (2008). Rastreabilidade na produção de leite de cabra: diferencial para um agronegócio sustentável. *EMBRAPA Caprinos*.
- Corallo, A., Paiano, R., Guido, A. L., Pandurino, A., Latino, M. E., and Menegoli, M. (2018). Intelligent monitoring internet of things based system for agri-food value chain traceability and transparency. In *2018 IEEE Workshop on (EESMS)*, pages 1–6. IEEE.
- Galvez, J. F., Mejuto, J. C., and Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 107:222–232.
- Golan, E., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K., and Price, G. (2004). Traceability in the us food supply: economic theory and industry studies. washington dc: Us dep. of agriculture. *Economic Research Service, Agric. Economic Report*, 3(830):56.
- Gordon, W. J. and Catalini, C. (2018). Blockchain technology for healthcare: Facilitating the transition to patient-driven interoperability. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16:224 – 230.

- Hamidi, A. N. (2021). Smart beef-quality tracking in malaysia using blockchain technology. *Journal of Independent Studies and Research Computing*, 19(1).
- Hewa, T., Ylianttila, M., and Liyanage, M. (2021). Survey on blockchain based smart contracts: Applications, opportunities and challenges. *Journal of Network and Computer Applications*, 177:102857.
- Hua, J., Wang, X., Kang, M., Wang, H., and Wang, F.-Y. (2018). Blockchain based provenance for agricultural products: A distributed platform with duplicated and shared bookkeeping. In *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, pages 97–101. IEEE.
- Junejo, A. Z., Hashmani, M. A., and Alabdulatif, A. A. (2021). Blockchain-based transparent and traceable halal food supply chain m s. In *Handbook of Research on Disruptive Innovation and Digital Transformation in Asia*, pages 462–490. IGI Global.
- Kher, S. V., Frewer, L. J., De Jonge, J., Wentholt, M., Davies, O. H., Luijckx, N. B. L., and Cnossen, H. J. (2010). Experts' perspectives on the implementation of traceability in europe. *British Food Journal*.
- Lawrie, R. A. and Ledward, D. A. (2014). *Lawrie's Meat Science*. Woodhead Publishing, Cambridge, 8 edition.
- Lee, H. L., Mendelson, H., Rammohan, S., and Srivastava, A. (2017). Technology in agribusiness: Opportunities to drive value. *White paper*.
- Loureiro, M. L. and Umberger, W. J. (2007). A choice experiment model for beef: What us consumer responses tell us about relative preferences for food safety, country-of-origin labeling and traceability. *Food policy*, 32(4):496–514.
- Manski, S. (2017). Building the blockchain world: Technological commonwealth or just more of the same? *Strategic Change*, 26(5):511–522.
- Mendonça, R. D., Gomes, O. S., Pereira, P. C., Vieira, A. B., and Nacif, J. A. (2020). Utilização de blockchain na rastreabilidade da cadeia produtiva do leite. In *Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações*, pages 55–60. SBC.
- MODULE, I. T. (2017). Improving food safety and traceability while empowering smallholders through ict. *ICT in agriculture (updated edition): Connecting smallholders to knowledge, networks, and institutions*, page 283.
- Olsen, P., Borit, M., and Syed, S. (2019). Applications, limitations, costs, and benefits related to the use of blockchain technology in the food industry. *Nofima rapportserie*.
- Ordóñez, J. A. (2005). *Tecnologia de Alimentos: Alimentos de Origem Animal*. Artmed, Porto Alegre.
- RAMBIM, D. and AWUOR, F. M. (2020). Blockchain based milk delivery platform for stallholder dairy farmers in kenya: enforcing transparency and fair payment. In *2020 IST-Africa Conference (IST-Africa)*, pages 1–6. IEEE.
- Scholten, H., Verdouw, C., Beulens, A., and Van der Vorst, J. (2016). Defining and analyzing traceability systems in food supply chains. In *Advances in food traceability techniques and technologies*, pages 9–33. Elsevier.
- Shew, A. M., Snell, H. A., Nayga Jr, R. M., and Lacity, M. C. (2022). Consumer valuation of blockchain traceability for beef in the u nited s tates. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 44(1):299–323.
- Vital, A. C. P., Guerrero, A., Kempinski, E. M. B. C., de Oliveira Monteschio, J., Sary, C., Ramos, T. R., del Mar Campo, M., and do Prado, I. N. (2018). Consumer profile and acceptability of cooked beef steaks with edible and active coating containing oregano and rosemary essential oils. *Meat Science*, 143:153–158.
- Yiannas, F. (2018). A new era of food transparency powered by blockchain. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 12(1-2):46–56.