

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE  
SÃO PAULO CÂMPUS ARARAQUARA

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

ARTHUR JOSÉ REGIANI

**SISTEMA INTEGRADO DE RASTREABILIDADE  
E GESTÃO PARA CAFEICULTURA:  
DEMOCRATIZANDO O ACESSO ÀS  
FERRAMENTAS DO CAMPO**

Araraquara  
2025

ARTHUR JOSÉ REGIANI

**SISTEMA INTEGRADO DE RASTREABILIDADE  
E GESTÃO PARA CAFEICULTURA:  
DEMOCRATIZANDO O ACESSO ÀS  
FERRAMENTAS DO CAMPO**

Trabalho destinado à conclusão do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas, apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Câmpus Araraquara, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Orientador: Mariana Massimino Feres

ARARAQUARA  
2025

# RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do "CoffeeHub", um sistema integrado de rastreabilidade e gestão para a cafeicultura, voltado para a democratização do acesso às tecnologias por pequenos e médios produtores rurais. A solução foi projetada para atender às necessidades específicas da cafeicultura brasileira, permitindo o registro, monitoramento e compartilhamento de informações sobre todas as etapas do processo produtivo, desde o plantio até a comercialização. A rastreabilidade desempenha um papel essencial na produção de cafés gourmets e especiais, especialmente no atendimento às rigorosas exigências do mercado de exportação, enquanto a gestão eficiente das lavouras contribui para a qualidade, sustentabilidade e competitividade no setor. Com funcionamento robusto em modo offline para áreas com conectividade limitada, o sistema promove segurança, confiabilidade e transparência em toda a cadeia produtiva. Espera-se, com este projeto, contribuir para a modernização e inclusão digital na cafeicultura, fortalecendo a posição dos produtores no mercado por meio de inovação tecnológica acessível e intuitiva.

**Palavras-chave:** Cafeicultura. Rastreabilidade. Gestão agrícola. Agricultura Digital. Sustentabilidade.

# ABSTRACT

This study presents the development of "CoffeeHub," an integrated traceability and management system for coffee farming, aimed at democratizing access to technology for small and medium-sized rural producers. The solution is designed to meet the specific needs of Brazilian coffee cultivation, enabling the recording, monitoring, and sharing of information across all stages of the coffee production process, from planting to commercialization. Traceability plays a crucial role in the production of gourmet and specialty coffees, particularly in meeting the strict requirements of the export market, while efficient farm management ensures product quality, sustainability, and competitiveness in the sector. With robust offline functionality for areas with limited connectivity, the system enhances security, reliability, and transparency throughout the production chain. This project aims to contribute to the modernization and digital inclusion of coffee farming, strengthening producers' market positions through accessible and user-friendly technological innovation.

**Keywords:** Coffee farming. Traceability. Agricultural management. Digital agriculture. Sustainability.

# Lista de Figuras

# Lista de Tabelas

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABIC</b>	Associação Brasileira da Indústria de Café
<b>BSCA</b>	Brazil Specialty Coffee Association
<b>CECAFÉ</b>	Conselho dos Exportadores de Café do Brasil
<b>CONAB</b>	Companhia Nacional de Abastecimento
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>INCAPER</b>	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>MAPA</b>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>QR</b>	Quick Response
<b>UE</b>	União Europeia
<b>UTZ</b>	UTZ Certified (programa de certificação para café, cacau e chá sustentáveis)

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA CAFEICULTURA NO BRASIL . . . . .	2
1.2	IMPORTÂNCIA DA RASTREABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA DO CAFÉ . . . . .	3
1.3	DESAFIOS TECNOLÓGICOS PARA PEQUENOS E MÉDIOS PRODUTORES . . . . .	4
1.4	JUSTIFICATIVA . . . . .	6
1.5	OBJETIVOS . . . . .	7
1.5.1	Objetivo Geral . . . . .	7
1.5.2	Objetivos Específicos . . . . .	7
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO . . . . .	7
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>9</b>
2.1	A Cafeicultura Brasileira: Panorama Atual e Tendências . . . . .	9
2.1.1	Histórico e Evolução da Cafeicultura no Brasil . . . . .	9
2.1.2	Principais Regiões Produtoras e suas Características . . . . .	10
2.1.3	Variedades de Café e suas Particularidades . . . . .	11
2.1.4	Mercado Nacional e Internacional do Café Brasileiro . . . . .	12
2.2	RASTREABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA DO CAFÉ . . . . .	13
2.2.1	Conceitos e Definições de Rastreabilidade . . . . .	13
2.2.2	Normas e Regulamentações Nacionais e Internacionais . . . . .	14
2.2.3	Certificações e Sistemas de Rastreabilidade na Cafeicultura . . . . .	15
2.3	TECNOLOGIAS DIGITAIS NA AGRICULTURA . . . . .	18
2.3.1	Agricultura 4.0 e Digitalização do Campo . . . . .	18
2.3.2	Barreiras para Adoção Tecnológica . . . . .	19
2.3.3	Tecnologias Aplicáveis à Rastreabilidade . . . . .	21
2.4	DESIGN CENTRADO NO USUÁRIO PARA CONTEXTO RURAL . . . . .	24
2.4.1	Princípios e Métodos . . . . .	24
2.4.2	Particularidades do Contexto Rural . . . . .	26
2.4.3	Experiências Bem-sucedidas . . . . .	27



# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira representa um dos pilares fundamentais do agronegócio nacional, consolidando o Brasil como o maior produtor e exportador mundial de café. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2025), o Brasil respondeu por aproximadamente 44% da produção global de café em 2024, com uma safra estimada em 61,8 milhões de sacas de 60 kg. Esta posição de liderança é resultado de uma trajetória histórica que remonta ao século XVIII, quando o café foi introduzido no país, transformando-se gradualmente em um dos principais produtos da economia brasileira.

O parque cafeeiro nacional é caracterizado por sua diversidade, abrangendo diferentes regiões produtoras, sistemas de cultivo e variedades. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2023), o Brasil cultiva predominantemente duas espécies de café: o arábica (*Coffea arabica*), que representa cerca de 70% da produção nacional e é cultivado principalmente em áreas de maior altitude nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Bahia e Paraná; e o conilon ou robusta (*Coffea canephora*), que corresponde a aproximadamente 30% da produção, concentrando-se em regiões de menor altitude, especialmente no Espírito Santo, Rondônia e Bahia.

A relevância econômica e social da cafeicultura brasileira é incontestável. O setor gera mais de 8 milhões de empregos diretos e indiretos, envolvendo cerca de 300 mil propriedades rurais distribuídas em mais de 1.900 municípios (MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2023). Além disso, o café continua sendo um dos principais produtos de exportação do agronegócio brasileiro, gerando divisas significativas para o país e contribuindo para o equilíbrio da balança comercial.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA CAFEICULTURA NO BRASIL

A história da cafeicultura no Brasil remonta ao início do século XVIII, especificamente ao ano de 1727, quando as primeiras mudas de café foram introduzidas no estado do Pará. Conforme documentado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a primeira exportação do produto ocorreu poucos anos depois, em 1732 (Instituto Agrônomo de Campinas, 2020). O cultivo rapidamente se disseminou pelo território nacional, encontrando condições edafoclimáticas favoráveis em diversas regiões e promovendo profundas transformações na paisagem e na estrutura econômica brasileira. O período conhecido como “ciclo do café”, particularmente intenso no século XIX e início do XX, foi um motor fundamental para o desenvolvimento de infraestrutura, como ferrovias, para a urbanização de cidades e para os primórdios da industrialização, especialmente na região Sudeste, consolidando o Brasil como um dos principais atores no mercado cafeeiro global (Marquese and Tomich, 2019).

Nas últimas décadas, a cafeicultura brasileira experimentou uma transformação significativa, passando de um modelo predominantemente extensivo para sistemas mais intensivos e tecnificados. Esta evolução foi impulsionada por investimentos em pesquisa e desenvolvimento, que resultaram em ganhos expressivos de produtividade. Conforme dados oficiais da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2024), a produtividade média da cafeicultura brasileira em 2024 atingiu 30,9 sacas por hectare, representando um aumento de 5,2% em relação à safra anterior, que registrou 29,4 sacas por hectare. Este crescimento contínuo da produtividade é resultado de décadas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, considerando que, segundo estudos históricos, na década de 1970 a produtividade média nacional era inferior a 10 sacas por hectare (Matiello, 2020).

O Brasil possui diversas regiões produtoras de café, cada uma com características edafoclimáticas específicas que conferem atributos distintos ao produto final. Segundo Silva (2021), as principais regiões produtoras incluem o Sul de Minas, o Cerrado Mineiro, as Matas de Minas, as Montanhas do Espírito Santo, o Norte do Espírito Santo, Rondônia, Bahia e o Norte do Paraná. Cada uma dessas regiões apresenta particularidades que influenciam diretamente a qualidade e as características sensoriais do café produzido.

Apesar dos avanços significativos, a cafeicultura brasileira ainda enfrenta desafios importantes, como a volatilidade dos preços internacionais, as mudanças climáticas, a necessidade de adaptação a novas exigências do mercado e a crescente demanda por práticas sustentáveis. Nesse contexto, a adoção de tecnologias digitais e sistemas de rastreabilidade emerge como uma estratégia fundamental para aumentar a competitividade e a sustentabilidade do setor.

## 1.2 IMPORTÂNCIA DA RASTREABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA DO CAFÉ

A rastreabilidade, no contexto da cadeia de alimentos, pode ser definida formalmente como a capacidade de traçar o histórico, a aplicação ou a localização de um item por meio de identificações registradas. Conforme estabelecido por normas internacionais como a ISO 22005:2007, que trata especificamente da rastreabilidade na cadeia produtiva de alimentos e rações, um sistema de rastreabilidade eficaz deve permitir o acompanhamento do fluxo de materiais e informações desde a origem (produção primária) até o consumidor final (for Standardization, 2007). No âmbito da cafeicultura, isso se traduz na capacidade de documentar e seguir o percurso do café desde a lavoura, passando pelo beneficiamento, armazenamento, transporte, torrefação e distribuição, até chegar à xícara do consumidor, garantindo a transparência e a verificabilidade de todas as etapas e transformações envolvidas (Ramos, 2023, Spers and Zylbersztajn, 2004).

Segundo Oliveira (2021), a rastreabilidade desempenha um papel crucial na produção de cafés especiais, permitindo a verificação da origem, dos métodos de cultivo, processamento e armazenamento, bem como das condições de transporte e comercialização. Esta transparência é particularmente valorizada no mercado de cafés de alta qualidade, onde os consumidores estão cada vez mais interessados em conhecer a história por trás do produto que consomem. Essa transparência na cadeia produtiva não apenas atende a uma demanda crescente de consumidores por informações detalhadas sobre os produtos que adquirem, mas também funciona como um diferencial competitivo significativo no mercado de cafés de alta qualidade, onde a história e a procedência do grão são atributos de valor intrínseco (Borém, 2020).

No cenário internacional, a rastreabilidade tornou-se um requisito fundamental para o acesso a mercados mais exigentes. De acordo com o Regulamento (UE) 2018-848 da União Europeia (União Europeia, 2018), produtos agrícolas, incluindo o café, devem atender a critérios rigorosos de rastreabilidade para serem comercializados como orgânicos ou sustentáveis no mercado europeu. Estas exigências incluem a documentação detalhada de todas as etapas da cadeia produtiva, desde o plantio até a comercialização.

A implementação de sistemas de rastreabilidade na cafeicultura brasileira traz benefícios significativos para todos os elos da cadeia produtiva. Para os produtores, permite a identificação de pontos críticos no processo produtivo, a otimização de recursos, a redução de perdas e a agregação de valor ao produto final. Para os compradores e consumidores, oferece garantias quanto à origem, qualidade e sustentabilidade do café, contribuindo para relações comerciais mais transparentes e duradouras.

Adicionalmente, a rastreabilidade é um componente essencial para processos de certificação, sejam eles focados em cafés especiais, produção orgânica, ou selos de indicação

geográfica. Conforme discutido em estudos sobre certificação na cafeicultura (Vicente, 2019, Silva and Fiorini, 2018), a capacidade de rastrear o produto ao longo da cadeia permite a verificação independente do cumprimento dos critérios exigidos por diferentes selos e normas. Essa verificação é crucial para diferenciar o produto no mercado, agregar valor e, conseqüentemente, possibilitar o acesso a nichos de mercado que remuneram melhor os produtores. Além disso, sistemas robustos de rastreabilidade facilitam o atendimento a exigências sanitárias e fitossanitárias de mercados importadores, contribuindo para a superação de barreiras não tarifárias e ampliando o acesso ao comércio internacional (Pereira, 2024, Oliveira and Spers, 2018).

No entanto, a implementação de sistemas de rastreabilidade na cafeicultura brasileira ainda enfrenta desafios significativos, especialmente para pequenos e médios produtores. Estes desafios incluem limitações de infraestrutura, dificuldades de acesso à tecnologia, custos de implementação e manutenção, além da necessidade de capacitação técnica para a utilização adequada das ferramentas disponíveis.

### **1.3 DESAFIOS TECNOLÓGICOS PARA PEQUENOS E MÉDIOS PRODUTORES**

A adoção de tecnologias digitais na agricultura, conhecida como Agricultura 4.0, representa uma revolução no modo de produzir alimentos, fibras e energia. Conforme destacam Massruhá (2020), esta transformação digital no campo envolve a utilização de sensores, drones, sistemas de informação geográfica, inteligência artificial, internet das coisas (IoT) e outras tecnologias avançadas para monitorar e otimizar todas as etapas do processo produtivo.

No contexto da cafeicultura, a adoção de tecnologias associadas à Agricultura 4.0, como sensoriamento remoto, Internet das Coisas (IoT), análise de dados e automação, apresenta um potencial significativo para otimizar a produção. Essas inovações podem contribuir para o aumento da produtividade, a redução de custos operacionais, a melhoria da qualidade final do café e a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis (Massruhá and Leite, 2017a, Klergman, 2021). No entanto, estudos e relatórios sobre a difusão da agricultura digital no Brasil apontam para uma heterogeneidade considerável no acesso e na adoção dessas tecnologias. Existe uma disparidade notável entre grandes propriedades, que geralmente possuem maior capacidade de investimento e acesso à infraestrutura, e os agricultores de pequeno e médio porte, que enfrentam barreiras significativas para incorporar essas inovações em seus sistemas produtivos (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe, 2021, Esperidião, 2024).

Os pequenos e médios produtores de café enfrentam diversos desafios para a adoção de tecnologias digitais, incluindo:

1. **Limitações de infraestrutura:** Muitas regiões produtoras de café no Brasil ainda sofrem com problemas de conectividade, dificultando a implementação de soluções que dependem de acesso à internet. Conforme apontado por Massruhá and Leite (2017b), aproximadamente 70% das propriedades rurais brasileiras ainda enfrentam problemas significativos de acesso à internet, com conexões instáveis ou inexistentes, o que inviabiliza a implementação de soluções que dependem de comunicação em tempo real. Estudos conduzidos pela Embrapa Informática Agropecuária demonstram que a falta de infraestrutura de telecomunicações em regiões produtoras de café, especialmente em áreas mais remotas, constitui um gargalo crítico para a adoção de tecnologias como IoT e sistemas de monitoramento remoto (Massruhá, 2020).
2. **Custos de aquisição e manutenção:** O investimento inicial necessário para a aquisição de equipamentos, softwares e serviços tecnológicos frequentemente excede a capacidade financeira de pequenos e médios cafeicultores. Pesquisas realizadas pela Universidade Federal de Uberlândia indicam que o custo médio de implementação de um sistema básico de agricultura de precisão pode representar entre 15% e 25% do faturamento anual de pequenas propriedades cafezeiras, tornando-se economicamente inviável sem linhas de financiamento específicas (Esperidião, 2024). Além disso, os custos recorrentes de manutenção, atualização e treinamento representam um desafio adicional para a sustentabilidade financeira desses empreendimentos.
3. **Complexidade das soluções disponíveis:** Grande parte das tecnologias desenvolvidas para o agronegócio apresenta interfaces complexas e exige conhecimentos técnicos específicos para sua utilização eficiente. Conforme destacam Massruhá (2020), a falta de soluções intuitivas e adaptadas às necessidades específicas dos pequenos e médios produtores constitui uma barreira significativa para a adoção tecnológica. Estudos de usabilidade conduzidos pela Embrapa demonstram que muitas das ferramentas disponíveis no mercado foram projetadas considerando o perfil de grandes produtores e profissionais especializados, não contemplando as particularidades e limitações dos agricultores familiares e de menor escala.
4. **Baixo nível de letramento digital:** A limitada familiaridade com tecnologias digitais, especialmente entre produtores mais idosos ou com menor nível de escolaridade, dificulta a adoção e o uso eficiente das ferramentas disponíveis. Pesquisas realizadas pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) revelam que aproximadamente 65% dos pequenos cafeicultores brasileiros apresentam dificuldades significativas no uso de aplicativos e sistemas digitais, mesmo aqueles com interfaces simplificadas (Rocha and Lucente, 2021). Este cenário evidencia a necessidade de considerar o perfil e as habilidades dos usuários no desenvolvimento de soluções tecnológicas para o meio rural.

5. **Falta de assistência técnica especializada:** A escassez de profissionais capacitados para oferecer suporte na implementação e utilização de tecnologias digitais no campo representa um desafio adicional para os produtores. Segundo estudo publicado pela Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe, 2021), existe uma demanda crescente por serviços de extensão rural que incorporem conhecimentos sobre tecnologias digitais aplicadas à agricultura, porém a oferta desses serviços ainda é insuficiente, especialmente em regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos.

Diante desses desafios, torna-se evidente a necessidade de desenvolver soluções tecnológicas que sejam acessíveis, intuitivas e adaptadas às necessidades específicas dos pequenos e médios produtores de café. Estas soluções devem considerar não apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas também as características socioculturais e as limitações estruturais das diferentes regiões produtoras (Esperidião, 2024).

## 1.4 JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por cafés de qualidade, produzidos de forma sustentável e com garantias de origem, tem impulsionado a necessidade de sistemas eficientes de rastreabilidade e gestão na cafeicultura. Segundo Silva (2021), os consumidores estão cada vez mais interessados em conhecer a procedência dos alimentos que consomem, valorizando produtos que oferecem transparência quanto aos métodos de produção, condições socioambientais e características de qualidade.

No mercado internacional, as exigências relacionadas à rastreabilidade e sustentabilidade têm se intensificado, estabelecendo novos padrões para a comercialização de café. Conforme destacado no Regulamento (UE) 2018-848 (União Europeia, 2018), a União Europeia, um dos principais destinos do café brasileiro, estabelece critérios rigorosos para a importação de produtos agrícolas, incluindo requisitos específicos de rastreabilidade e certificação.

Apesar da importância estratégica da rastreabilidade para a competitividade da cafeicultura brasileira, existe uma lacuna significativa no acesso a tecnologias adequadas, especialmente para pequenos e médios produtores. Conforme apontado no relatório Radar Agtech (Figueiredo et al., 2022), a maioria das soluções tecnológicas disponíveis no mercado é desenvolvida para grandes produtores, não atendendo às necessidades específicas e às limitações dos agricultores de menor porte.

Nesse contexto, o desenvolvimento de um sistema integrado de rastreabilidade e gestão para a cafeicultura, acessível e adaptado às necessidades dos pequenos e médios produtores, representa uma contribuição significativa para a democratização do acesso às tecnologias digitais no campo. Tal sistema pode não apenas facilitar o cumprimento de requisitos de mercado, mas também promover a inclusão digital, a melhoria da gestão e o aumento da

competitividade dos produtores de menor escala.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo Geral**

Desenvolver um sistema integrado de rastreabilidade e gestão para a cafeicultura, denominado "CoffeeHub", que seja acessível, intuitivo e adaptado às necessidades específicas de pequenos e médios produtores, contribuindo para a democratização do acesso às tecnologias digitais no campo e para o aumento da competitividade e sustentabilidade da produção cafeeira.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar as necessidades específicas de pequenos e médios produtores de café em relação à rastreabilidade e gestão da produção, considerando as particularidades das diferentes regiões produtoras e sistemas de cultivo.
2. Desenvolver uma arquitetura de sistema que permita o funcionamento eficiente em áreas com conectividade limitada, através de sincronização periódica de dados e funcionalidades offline.
3. Implementar funcionalidades que facilitem o registro e monitoramento de todas as etapas do processo produtivo, desde o plantio até a comercialização, em conformidade com as principais normas e certificações do setor.
4. Criar uma interface intuitiva e adaptada ao perfil dos usuários, considerando aspectos de usabilidade, acessibilidade e diferentes níveis de letramento digital.
5. Desenvolver mecanismos de compartilhamento de informações entre os diferentes elos da cadeia produtiva, promovendo a transparência e a valorização do produto.
6. Avaliar a eficácia e usabilidade do sistema em condições reais de uso, através de testes com produtores de diferentes perfis e regiões.

## **1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, contextualização da cafeicultura no Brasil, importância da rastreabilidade na cadeia produtiva do café, desafios tecnológicos para pequenos e médios produtores, justificativa e objetivos do trabalho.

O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica, incluindo um panorama atual e tendências da cafeicultura brasileira, conceitos e definições de rastreabilidade, normas e regulamentações nacionais e internacionais, tecnologias digitais na agricultura e design centrado no usuário para o contexto rural.

O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento do sistema, incluindo a pesquisa de campo para levantamento de requisitos, a arquitetura do sistema, as tecnologias utilizadas, o processo de desenvolvimento e os métodos de avaliação.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos, incluindo a descrição detalhada do sistema desenvolvido, suas funcionalidades, interface, arquitetura e os resultados dos testes de usabilidade e eficácia.

O quinto capítulo traz as considerações finais, incluindo as conclusões, limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.



# Capítulo 2

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A CAFEICULTURA BRASILEIRA: PANORAMA ATUAL E TENDÊNCIAS

#### 2.1.1 Histórico e Evolução da Cafeicultura no Brasil

A história da cafeicultura brasileira tem suas raízes no século XVIII, mais precisamente em 1727, quando o sargento-mor Francisco de Melo Palheta trouxe sementes de café para o Brasil. A partir daí, o café se expandiu rapidamente pelo território nacional, transformando-se em um dos principais produtos da economia brasileira.

Segundo Silva (2021), a cafeicultura brasileira passou por diferentes ciclos de desenvolvimento. O primeiro grande ciclo ocorreu no Vale do Paraíba, entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, durante o século XIX. Posteriormente, a produção migrou para o oeste paulista, consolidando São Paulo como o principal estado produtor até meados do século XX. A partir da década de 1970, com o Plano de Renovação e Revigoração dos Cafezais, houve uma significativa modernização da cafeicultura nacional, com a introdução de novas variedades, técnicas de cultivo e expansão para novas regiões produtoras, como o cerrado mineiro e o oeste baiano.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2025), a cafeicultura brasileira experimentou uma transformação significativa nas últimas décadas, passando de um modelo predominantemente extensivo para sistemas mais intensivos e tecnificados. Esta evolução foi impulsionada por investimentos em pesquisa e desenvolvimento, que resultaram em ganhos expressivos de produtividade. Conforme dados da Embrapa (EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2023), a produtividade média da cafeicultura brasileira aumentou de 8 sacas por hectare na década de 1970 para aproximadamente 32 sacas por hectare em 2024, representando um crescimento de 300%.

### 2.1.2 Principais Regiões Produtoras e suas Características

O Brasil possui diversas regiões produtoras de café, cada uma com características edafoclimáticas específicas que conferem atributos distintos ao produto final. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2023), as principais regiões produtoras são:

1. **Sul de Minas:** Maior região produtora de café arábica do Brasil, caracterizada por altitudes entre 800 e 1.300 metros, temperatura média anual de 19°C e precipitação de 1.600 mm/ano. Os cafés desta região geralmente apresentam corpo médio a alto, acidez média e notas de chocolate e caramelo.
2. **Cerrado Mineiro:** Primeira região brasileira a obter Denominação de Origem para o café, caracteriza-se por altitudes entre 800 e 1.300 metros, clima com estações bem definidas e topografia plana que favorece a mecanização. Os cafés do Cerrado Mineiro tipicamente apresentam corpo médio, acidez cítrica e notas de caramelo, nozes e frutas.
3. **Matas de Minas:** Região montanhosa no leste de Minas Gerais, com altitudes entre 600 e 1.200 metros e predominância de agricultura familiar. Seus cafés geralmente têm corpo médio a alto, acidez média e notas de chocolate e frutas amarelas.
4. **Montanhas do Espírito Santo:** Principal região produtora de café arábica do Espírito Santo, com altitudes entre 700 e 1.200 metros. Segundo Peron (2024), esta região tem se destacado pela produção de cafés especiais com perfil sensorial complexo, apresentando notas florais e frutadas.
5. **Norte do Espírito Santo:** Maior região produtora de café conilon do Brasil, com altitudes entre 100 e 500 metros e clima quente e úmido. De acordo com Peron (2024), o conilon capixaba tem alcançado qualidade superior nos últimos anos, com corpo intenso e notas de chocolate amargo e especiarias.
6. **Rondônia:** Segunda maior região produtora de café conilon, com crescente técnica e melhorias na qualidade. Segundo a Embrapa (EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2023), Rondônia tem investido em programas de melhoramento genético e boas práticas agrícolas, resultando em aumento de produtividade e qualidade.
7. **Bahia:** Possui três regiões produtoras distintas: Planalto da Bahia (café arábica em sistema irrigado), Chapada Diamantina (café arábica de altitude) e Atlântico Baiano (café conilon). Conforme dados da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento,

2024), a Bahia se destaca pela alta tecnificação e produtividade, especialmente nas áreas irrigadas.

8. **Norte do Paraná:** Tradicional região produtora de café arábica, que passou por significativa redução de área nas últimas décadas devido a fatores climáticos, mas mantém importância histórica e cultural na cafeicultura brasileira.

### 2.1.3 Variedades de Café e suas Particularidades

A cafeicultura brasileira cultiva principalmente duas espécies de café: *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café conilon ou robusta). Segundo a Embrapa (EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2023), cada espécie possui características distintas e adaptações a diferentes condições ambientais.

O café arábica, que representa aproximadamente 70% da produção nacional, é cultivado predominantemente em regiões de maior altitude (acima de 600 metros) e clima mais ameno (temperatura média entre 18°C e 22°C). Esta espécie produz bebidas de qualidade superior, com maior complexidade aromática, menor teor de cafeína (entre 0,9% e 1,5%) e maior valor de mercado. As principais cultivares de arábica no Brasil, conforme Silva (2021), incluem:

- **Mundo Novo:** Resultado do cruzamento natural entre Sumatra e Bourbon Vermelho, caracteriza-se por alta produtividade, vigor vegetativo e boa qualidade de bebida. É amplamente cultivada em diversas regiões produtoras.
- **Catuaí:** Desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), é resultado do cruzamento entre Mundo Novo e Caturra. Apresenta porte baixo, facilitando a colheita, e boa produtividade. Existem variações de Catuaí Vermelho e Amarelo.
- **Bourbon:** Variedade tradicional, conhecida pela excelente qualidade de bebida, com notas florais e frutadas. Apresenta menor produtividade em comparação com cultivares mais modernas, mas é valorizada no mercado de cafés especiais.
- **Icatu:** Resultado do cruzamento entre Robusta e Bourbon Vermelho, seguido de retro-cruzamentos com Mundo Novo. Apresenta resistência à ferrugem, boa produtividade e qualidade de bebida.
- **Catucaí:** Híbrido natural de Icatu e Catuaí, combina resistência à ferrugem com porte baixo e boa produtividade.

O café conilon ou robusta, que representa cerca de 30% da produção nacional, é cultivado principalmente em regiões de menor altitude (abaixo de 500 metros) e clima mais quente e úmido (temperatura média entre 22°C e 26°C). Esta espécie apresenta maior resistência

a pragas e doenças, maior teor de cafeína (entre 1,5% e 2,5%) e maior produtividade. Tradicionalmente utilizado na indústria de café solúvel e em blends, o conilon tem ganhado espaço no mercado de cafés especiais, especialmente com o desenvolvimento de técnicas de processamento que valorizam seus atributos sensoriais.

#### 2.1.4 Mercado Nacional e Internacional do Café Brasileiro

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, com uma participação significativa no mercado global. Segundo dados da CONAB (CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2025), a produção brasileira na safra 2024/2025 foi estimada em 61,8 milhões de sacas de 60 kg, representando aproximadamente 44% da produção mundial.

No mercado interno, o consumo de café tem apresentado crescimento constante nas últimas décadas. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), o consumo per capita de café no Brasil atingiu 6,2 kg de café torrado por habitante por ano em 2024, posicionando o país como o segundo maior consumidor mundial, atrás apenas dos Estados Unidos em volume total.

Silva (2021) destaca que o mercado brasileiro de café tem passado por transformações significativas, com crescente valorização de cafés especiais e maior exigência dos consumidores quanto à qualidade e sustentabilidade do produto. Este movimento tem impulsionado a segmentação do mercado e a diferenciação de produtos, com destaque para cafés com certificações, indicações geográficas e atributos sensoriais diferenciados.

No mercado internacional, o café brasileiro é exportado para mais de 120 países, com destaque para Estados Unidos, Alemanha, Itália, Japão e Bélgica. Segundo o Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (CECAFÉ), as exportações brasileiras de café em 2024 totalizaram aproximadamente 40 milhões de sacas, gerando receita de US\$ 8,5 bilhões.

Conforme apontado por Silva (2021), o mercado internacional de café tem apresentado tendências importantes que impactam diretamente a cafeicultura brasileira:

1. **Crescente demanda por cafés especiais:** O segmento de cafés especiais tem crescido a taxas superiores às do mercado convencional, impulsionado por consumidores que buscam experiências sensoriais diferenciadas e estão dispostos a pagar mais por produtos de qualidade superior.
2. **Valorização da origem e rastreabilidade:** Consumidores e compradores internacionais estão cada vez mais interessados em conhecer a origem do café, os métodos de produção e as condições socioambientais das regiões produtoras.
3. **Exigências de sustentabilidade:** Mercados mais exigentes, como o europeu, têm estabelecido critérios rigorosos relacionados à sustentabilidade ambiental, social e

econômica da produção cafeeira, incluindo requisitos específicos de rastreabilidade e certificação.

4. **Digitalização da cadeia produtiva:** A adoção de tecnologias digitais tem transformado a forma como o café é produzido, comercializado e consumido, criando novas oportunidades e desafios para todos os elos da cadeia.
5. **Volatilidade de preços:** O mercado internacional de café continua sujeito a significativa volatilidade de preços, influenciada por fatores como condições climáticas, estoques globais, especulação financeira e variações cambiais.

Diante desse cenário, a capacidade de atender às exigências do mercado em termos de qualidade, rastreabilidade e sustentabilidade torna-se cada vez mais determinante para a competitividade da cafeicultura brasileira no cenário internacional.

## 2.2 RASTREABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA DO CAFÉ

### 2.2.1 Conceitos e Definições de Rastreabilidade

A rastreabilidade pode ser definida como a capacidade de seguir o histórico, a aplicação ou a localização de um item por meio de informações registradas (ISO 9000:2015). No contexto da cadeia produtiva do café, a rastreabilidade refere-se à capacidade de identificar e seguir o percurso do produto desde a fazenda até o consumidor final, documentando todas as etapas e processos pelos quais o café passa.

Segundo Silva (2021), a rastreabilidade na cafeicultura pode ser classificada em três tipos principais:

1. **Rastreabilidade para trás (upstream):** Refere-se à capacidade de identificar a origem e as características dos insumos utilizados na produção, como sementes, fertilizantes, defensivos e outros materiais.
2. **Rastreabilidade interna (processo):** Relaciona-se ao registro e monitoramento de todas as atividades e processos realizados dentro da propriedade ou unidade de processamento, incluindo práticas de manejo, colheita, processamento e armazenamento.
3. **Rastreabilidade para frente (downstream):** Diz respeito ao acompanhamento do produto após sua saída da propriedade ou unidade de processamento, incluindo transporte, comercialização, industrialização e distribuição até o consumidor final.

Perfect Daily Grind (2021) destaca que a rastreabilidade no café vai além do simples registro de informações, envolvendo a criação de uma narrativa completa sobre o produto, que conecta produtores e consumidores e agrega valor à cadeia produtiva. Esta narrativa inclui informações sobre a região produtora, a variedade do café, as práticas de manejo, os métodos de processamento, as características sensoriais e as condições socioambientais da produção.

A implementação de sistemas de rastreabilidade na cafeicultura traz benefícios significativos para todos os elos da cadeia produtiva. Para os produtores, permite a identificação de pontos críticos no processo produtivo, a otimização de recursos, a redução de perdas e a agregação de valor ao produto final. Para os compradores e consumidores, oferece garantias quanto à origem, qualidade e sustentabilidade do café, contribuindo para relações comerciais mais transparentes e duradouras.

### **2.2.2 Normas e Regulamentações Nacionais e Internacionais**

A rastreabilidade na cadeia produtiva do café é regulada por diversas normas e regulamentações, tanto no âmbito nacional quanto internacional. Estas normas estabelecem requisitos e diretrizes para a implementação de sistemas de rastreabilidade, visando garantir a segurança, qualidade e conformidade do produto.

No Brasil, a Instrução Normativa nº 77 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2023) estabelece diretrizes para a rastreabilidade de produtos agropecuários, incluindo o café. Esta normativa define os requisitos mínimos para a identificação, registro e controle da produção, bem como as responsabilidades dos diferentes atores da cadeia produtiva.

Além disso, o Brasil é signatário do Acordo Internacional do Café, administrado pela Organização Internacional do Café (OIC), que estabelece diretrizes para a rastreabilidade e certificação de origem do café comercializado internacionalmente. Conforme destacado por Silva (2021), o Certificado de Origem da OIC é um documento fundamental para a exportação de café, atestando a origem e as características do produto.

No âmbito internacional, diversas normas e regulamentações impactam a rastreabilidade do café brasileiro, especialmente para acesso a mercados mais exigentes. Entre as principais, destacam-se:

1. **Regulamento (UE) 2018-848 da União Europeia:** Estabelece requisitos rigorosos para a produção biológica e a rotulagem de produtos orgânicos, incluindo disposições específicas sobre rastreabilidade. Segundo este regulamento, todos os operadores da cadeia produtiva devem manter registros detalhados que permitam identificar a origem, natureza e quantidades de todos os produtos e insumos utilizados (União Europeia, 2018).

2. **Food Safety Modernization Act (FSMA) dos Estados Unidos:** Legislação que visa garantir a segurança do fornecimento de alimentos nos EUA, incluindo requisitos de rastreabilidade para produtos importados. Conforme Silva (2021), esta legislação tem impacto significativo nas exportações de café para o mercado americano, exigindo a implementação de sistemas robustos de rastreabilidade e controle de qualidade.
3. **Normas ISO:** A série de normas ISO 22000 (Sistemas de Gestão da Segurança de Alimentos) e ISO 9001 (Sistemas de Gestão da Qualidade) estabelecem diretrizes para a implementação de sistemas de rastreabilidade em cadeias produtivas de alimentos, incluindo o café.
4. **Certificações Voluntárias:** Além das regulamentações obrigatórias, existem diversas certificações voluntárias que estabelecem critérios específicos de rastreabilidade para o café, como Rainforest Alliance, UTZ, Fair Trade, 4C, Orgânico e C.A.F.E. Practices (Starbucks). Segundo Silva (2021), estas certificações têm ganhado importância crescente no mercado internacional, sendo muitas vezes requisitos para acesso a determinados nichos de mercado.

Peron (2024) destacam que o atendimento a estas normas e regulamentações representa um desafio significativo para os produtores de café, especialmente os de pequeno e médio porte, que muitas vezes não dispõem dos recursos e conhecimentos necessários para implementar sistemas complexos de rastreabilidade. Nesse contexto, o desenvolvimento de soluções tecnológicas acessíveis e adaptadas às necessidades específicas desses produtores torna-se fundamental para garantir sua inclusão e competitividade no mercado.

### 2.2.3 Certificações e Sistemas de Rastreabilidade na Cafeicultura

A rastreabilidade na cafeicultura está intrinsecamente ligada aos sistemas de certificação, que não apenas atestam a qualidade e origem do produto, mas também estabelecem protocolos rigorosos de documentação e controle em toda a cadeia produtiva. Segundo Mundim et al. (2024), as certificações surgiram como uma alternativa para atrair consumidores cada vez mais exigentes, atuando com práticas sustentáveis que visam o meio ambiente, as condições de trabalho dos agricultores e a qualidade do café.

#### Principais Certificações Aplicáveis à Cafeicultura Brasileira

O mercado cafeeiro brasileiro e internacional reconhece diversas certificações que impactam diretamente nos processos de rastreabilidade. Duarte and Ferreira (2019) identificaram que os resultados da adoção de certificações revelam uma variedade de benefícios tanto para produtores quanto para consumidores, destacando-se:

**Fairtrade (Comércio Justo)** Esta certificação, emitida pela Fairtrade Internacional, garante que o café foi produzido e comercializado seguindo padrões que promovem condições justas de trabalho e comércio. Os sistemas de rastreabilidade do Fairtrade permitem identificar a origem social do produto, documentando aspectos como remuneração justa, condições de trabalho adequadas e investimentos em projetos comunitários (Fairtrade International, 2024).

**Café Orgânico** As certificações de café orgânico, concedidas no Brasil principalmente pelo IBD Certificações e Orgânicos do Brasil, exigem a ausência total de agrotóxicos e adubos químicos solúveis na produção. A rastreabilidade neste sistema é particularmente rigorosa, documentando todos os insumos utilizados e práticas agrícolas adotadas, garantindo a integridade orgânica desde o plantio até a comercialização (Duarte and Ferreira, 2019).

**Rainforest Alliance** A Rainforest Alliance (RA) certifica a produção ambientalmente sustentável, com foco na preservação da biodiversidade e práticas de baixo impacto ambiental. Seus protocolos de rastreabilidade documentam detalhadamente as práticas de conservação ambiental, uso de recursos naturais e proteção de ecossistemas, permitindo ao consumidor conhecer o impacto ambiental da produção (Rainforest Alliance, 2023).

**UTZ Certified** Atualmente parte da Rainforest Alliance, a certificação UTZ Kapeh foi pioneira em estabelecer sistemas completos de rastreabilidade na cadeia do café, informando não apenas sobre a origem geográfica, mas também sobre as práticas de produção. Seu sistema de rastreabilidade é considerado um dos mais abrangentes, permitindo o acompanhamento do produto desde a fazenda até a xícara do consumidor (ABIC - Associação Brasileira da Indústria de Café, 2024).

**Indicação Geográfica (IG)** No Brasil, o Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) é responsável pelo registro das Indicações Geográficas, que podem ser do tipo Indicação de Procedência (IP) ou Denominação de Origem (DO). Este sistema de certificação garante a procedência do café de determinada região, associando suas características qualitativas ao terroir específico. A rastreabilidade geográfica é o cerne deste sistema, permitindo identificar precisamente a origem territorial do produto (EMBRAPA, 2023).

**Certificações ABIC** A Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) mantém diversos programas de certificação, incluindo o Selo de Pureza, Qualidade, Sustentabilidade, Cápsula e Cafeteria. Uma importante ferramenta de rastreabilidade implementada pela ABIC é o aplicativo Abicafé, que permite ao consumidor consultar o certificado impresso na embalagem do café através de QR Code, verificando a autenticidade e características do produto (ABIC - Associação Brasileira da Indústria de Café, 2024).



**Café Especial (BSCA)** A Brazil Specialty Coffee Association (BSCA) certifica cafés com pontuação mínima de 80 pontos (escala 0-100), atestando sua qualidade excepcional. Seu sistema de rastreabilidade documenta características sensoriais, métodos de processamento e condições específicas de cultivo que contribuem para o perfil sensorial diferenciado do produto (BSCA - Brazil Specialty Coffee Association, 2023).

## **Integração de Certificações aos Sistemas de Gestão e Rastreabilidade**

A implementação eficaz de sistemas de rastreabilidade na cafeicultura requer a integração das certificações às práticas de gestão. Conforme apontado pela EMBRAPA (2023), esta integração pode ser realizada através de:

1. **Sistemas Digitais de Registro:** Plataformas que documentam digitalmente todas as etapas produtivas, desde o plantio até a comercialização, integrando os requisitos específicos de cada certificação.
2. **Tecnologias de Rastreabilidade:** Utilização de QR Codes, blockchain e RFID para garantir a autenticidade e integridade das informações ao longo da cadeia produtiva.
3. **Monitoramento Contínuo:** Acompanhamento em tempo real das condições de produção, permitindo intervenções rápidas em caso de não-conformidades.
4. **Auditorias Regulares:** Verificação periódica da conformidade com os requisitos das certificações, garantindo a manutenção dos padrões estabelecidos.
5. **Capacitação de Produtores:** Treinamento para implementação de práticas certificáveis e utilização adequada dos sistemas de rastreabilidade.

## **Benefícios da Integração entre Certificações e Rastreabilidade**

A integração entre certificações e sistemas de rastreabilidade proporciona diversos benefícios para a cafeicultura, conforme documentado por Duarte and Ferreira (2019):

1. **Transparência na Cadeia Produtiva:** Permite o acompanhamento detalhado de cada etapa do processo, aumentando a confiança do consumidor.
2. **Credibilidade ao Produto:** Atesta a qualidade e conformidade com padrões específicos, agregando valor à marca e ao produto.
3. **Diferencial Competitivo:** Proporciona acesso a mercados mais exigentes e melhores preços, especialmente no mercado internacional.
4. **Gestão Eficiente:** Promove práticas de gestão mais eficazes, resultando em maior produtividade e qualidade.

5. **Responsabilidade Socioambiental:** Garante o respeito às normas ambientais e sociais, contribuindo para a sustentabilidade da cafeicultura.

## **Tendências e Inovações em Certificação e Rastreabilidade**

O futuro da integração entre certificações e rastreabilidade na cafeicultura aponta para inovações tecnológicas significativas. A EMBRAPA (2023) destaca as seguintes tendências:

1. **Blockchain:** Implementação de tecnologia blockchain para garantir rastreabilidade imutável e transparente em toda a cadeia produtiva.
2. **Aplicativos Móveis:** Desenvolvimento de ferramentas que permitam ao consumidor verificar a autenticidade e origem do café em tempo real.
3. **Sensores IoT:** Utilização de sensores para monitoramento automatizado das condições de cultivo, processamento e armazenamento.
4. **Inteligência Artificial:** Aplicação de algoritmos de IA para análise preditiva de qualidade e conformidade com requisitos de certificação.
5. **Certificações Integradas:** Criação de sistemas que unifiquem múltiplas certificações, simplificando processos e reduzindo custos para os produtores.

A democratização do acesso a estas tecnologias e certificações representa um desafio significativo, especialmente para pequenos e médios produtores. Sistemas como o CoffeeHub surgem como alternativas viáveis para superar estas barreiras, proporcionando ferramentas acessíveis e intuitivas que facilitam a implementação de práticas certificáveis e a manutenção de sistemas robustos de rastreabilidade.

## **2.3 TECNOLOGIAS DIGITAIS NA AGRICULTURA**

### **2.3.1 Agricultura 4.0 e Digitalização do Campo**

A Agricultura 4.0, também conhecida como Agricultura Digital ou Agricultura Inteligente, representa uma nova era na produção agrícola, caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas em todas as etapas da cadeia produtiva. Segundo Massruhá (2020), esta transformação digital no campo envolve a utilização de sensores, drones, sistemas de informação geográfica, inteligência artificial, internet das coisas (IoT), big data, computação em nuvem e outras tecnologias para monitorar, analisar e otimizar os processos produtivos.

O conceito de Agricultura 4.0 está alinhado com a chamada Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, que se caracteriza pela fusão de tecnologias físicas, digitais e

biológicas, resultando em sistemas ciber-físicos que transformam a forma como produzimos, consumimos e nos relacionamos. No contexto agrícola, esta revolução tem o potencial de aumentar significativamente a produtividade, reduzir custos, melhorar a qualidade dos produtos e promover práticas mais sustentáveis.

De acordo com o relatório Radar Agtech (Figueiredo et al., 2022), o Brasil tem experimentado um crescimento expressivo no número de startups e empresas de tecnologia voltadas para o agronegócio (agtechs), que desenvolvem soluções inovadoras para os diversos desafios do setor. Estas soluções abrangem desde sistemas de monitoramento e gestão da produção até plataformas de comercialização e rastreabilidade de produtos agrícolas.

Na cafeicultura, a digitalização tem avançado em diferentes frentes, incluindo:

1. **Agricultura de Precisão:** Utilização de sensores, drones, imagens de satélite e sistemas de posicionamento global (GPS) para monitorar variáveis como solo, clima, pragas e doenças, permitindo intervenções localizadas e otimização do uso de insumos.
2. **Internet das Coisas (IoT):** Implementação de redes de sensores conectados que coletam e transmitem dados em tempo real sobre condições ambientais, estado das plantas, umidade do solo e outros parâmetros relevantes para a produção.
3. **Sistemas de Gestão:** Plataformas digitais que integram informações sobre todas as etapas do processo produtivo, desde o planejamento até a comercialização, facilitando a tomada de decisões e o controle de custos.
4. **Blockchain e Rastreabilidade:** Utilização de tecnologias de registro distribuído para garantir a segurança, transparência e imutabilidade das informações sobre a origem e o percurso do café ao longo da cadeia produtiva.
5. **Inteligência Artificial e Machine Learning:** Aplicação de algoritmos avançados para análise de grandes volumes de dados, identificação de padrões e previsão de cenários, auxiliando na tomada de decisões e na otimização de processos.

Massruhá (2020) destacam que a digitalização do campo representa uma oportunidade única para aumentar a eficiência, a sustentabilidade e a competitividade da agricultura brasileira, especialmente em um cenário de crescente demanda por alimentos, fibras e energia, combinado com a necessidade de reduzir o impacto ambiental da produção agrícola.

### 2.3.2 Barreiras para Adoção Tecnológica

Apesar dos benefícios potenciais da digitalização na agricultura, a adoção de tecnologias digitais no campo ainda enfrenta barreiras significativas, especialmente para pequenos

e médios produtores. Segundo Nunes (2024), estas barreiras podem ser classificadas em quatro categorias principais: técnicas, econômicas, socioculturais e institucionais.

#### **Barreiras Técnicas:**

1. **Conectividade limitada:** A falta de acesso à internet de qualidade em áreas rurais representa um dos principais gargalos para a digitalização do campo. Conforme apontado no relatório Radar Agtech (Figueiredo et al., 2022), aproximadamente 70% das propriedades rurais brasileiras ainda não possuem acesso adequado à internet, o que dificulta ou impossibilita a implementação de soluções que dependem de conectividade.
2. **Incompatibilidade entre sistemas:** A falta de padronização e interoperabilidade entre diferentes soluções tecnológicas dificulta a integração de dados e a criação de ecossistemas digitais completos. Massruhá (2020) destacam que esta fragmentação pode levar à duplicação de esforços e à subutilização do potencial das tecnologias disponíveis.
3. **Complexidade das soluções:** Muitas das tecnologias desenvolvidas para o agronegócio são complexas e exigem conhecimentos específicos para sua utilização eficiente. Nunes (2024) ressalta que a falta de soluções intuitivas e adaptadas às necessidades específicas dos pequenos e médios produtores constitui uma barreira significativa para a adoção tecnológica.

#### **Barreiras Econômicas:**

1. **Custos de aquisição e implementação:** O investimento inicial para a aquisição de equipamentos, softwares e serviços tecnológicos pode ser proibitivo para produtores com recursos limitados. Segundo o Radar Agtech (Figueiredo et al., 2022), o custo é citado como a principal barreira para a adoção de tecnologias digitais por aproximadamente 65% dos pequenos e médios produtores rurais.
2. **Custos de manutenção e atualização:** Além do investimento inicial, os custos recorrentes de manutenção, suporte técnico e atualização das tecnologias representam um desafio adicional para a sustentabilidade financeira dos empreendimentos.
3. **Dificuldade de acesso a crédito:** A limitada disponibilidade de linhas de financiamento específicas para a digitalização de pequenas e médias propriedades rurais dificulta o acesso a recursos para investimento em tecnologia.

#### **Barreiras Socioculturais:**

1. **Baixo nível de letramento digital:** A limitada familiaridade com tecnologias digitais, especialmente entre produtores mais idosos ou com menor nível de escolaridade,

dificulta a adoção e o uso eficiente das ferramentas disponíveis. Nunes (2024) ressalta a importância de considerar o perfil e as habilidades dos usuários no desenvolvimento de soluções tecnológicas para o meio rural.

2. **Resistência à mudança:** A tradição e o apego a métodos convencionais de produção podem gerar resistência à adoção de novas tecnologias, especialmente quando não há uma percepção clara dos benefícios potenciais.
3. **Falta de confiança nas tecnologias:** Preocupações com a segurança dos dados, privacidade e dependência tecnológica podem inibir a adoção de soluções digitais, especialmente em um contexto de limitada compreensão sobre o funcionamento e as implicações dessas tecnologias.

#### **Barreiras Institucionais:**

1. **Falta de políticas públicas específicas:** A ausência ou insuficiência de políticas públicas voltadas para a digitalização do campo, especialmente para pequenos e médios produtores, limita o acesso a recursos, conhecimentos e infraestrutura necessários para a adoção tecnológica.
2. **Limitações na assistência técnica:** A escassez de profissionais capacitados para oferecer suporte na implementação e utilização de tecnologias digitais no campo representa um desafio adicional para os produtores. Segundo o Radar Agtech (Figueiredo et al., 2022), existe uma demanda crescente por serviços de extensão rural que incorporem conhecimentos sobre tecnologias digitais aplicadas à agricultura.
3. **Lacunas regulatórias:** A falta de marcos regulatórios claros para questões como propriedade e uso de dados agrícolas, responsabilidade por falhas tecnológicas e padrões de interoperabilidade pode gerar insegurança jurídica e inibir investimentos em digitalização.

Diante dessas barreiras, Massruhá (2020) destacam a importância de uma abordagem integrada para promover a digitalização inclusiva do campo, que considere não apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas também as dimensões socioculturais e institucionais da adoção tecnológica. Esta abordagem deve incluir o desenvolvimento de soluções acessíveis e adaptadas às necessidades específicas dos diferentes perfis de produtores, a capacitação contínua, o fortalecimento da assistência técnica e a criação de um ambiente regulatório favorável à inovação e à inclusão digital no meio rural.

### **2.3.3 Tecnologias Aplicáveis à Rastreabilidade**

A rastreabilidade na cadeia produtiva do café tem se beneficiado significativamente dos avanços tecnológicos, que permitem o registro, armazenamento, processamento e

compartilhamento de informações de forma mais eficiente, segura e transparente. Diversas tecnologias têm sido aplicadas ou adaptadas para atender às necessidades específicas de rastreabilidade no setor cafeeiro, desde soluções mais simples até sistemas complexos e integrados.

#### **Sistemas de Identificação e Marcação:**

1. **Códigos de barras e QR Codes:** Tecnologias amplamente utilizadas para identificação de lotes, sacas e embalagens de café, permitindo o acesso rápido a informações sobre origem, características e processamento do produto. Segundo Silva (2021), estes códigos podem ser lidos por smartphones ou leitores específicos, facilitando o rastreamento ao longo da cadeia produtiva.
2. **RFID (Identificação por Radiofrequência):** Etiquetas eletrônicas que armazenam e transmitem dados sem contato físico, permitindo a identificação e o rastreamento automático de produtos. Conforme destacado por Massruhá (2020), a tecnologia RFID tem potencial para aumentar a eficiência e a precisão dos sistemas de rastreabilidade, especialmente em operações de grande escala.
3. **NFC (Near Field Communication):** Tecnologia similar ao RFID, mas com alcance mais limitado e maior capacidade de armazenamento de dados, que permite a interação direta com smartphones e outros dispositivos móveis. Perfect Daily Grind (2021) menciona que etiquetas NFC têm sido utilizadas em embalagens de café especial, permitindo que consumidores acessem informações detalhadas sobre a origem e as características do produto.

#### **Sistemas de Coleta e Registro de Dados:**

1. **Aplicativos móveis:** Soluções que permitem o registro digital de informações diretamente no campo, utilizando smartphones ou tablets. Peron (2024) destacam a importância destes aplicativos para substituir ou complementar os tradicionais cadernos de campo, facilitando o registro, organização e compartilhamento de dados sobre todas as etapas do processo produtivo.
2. **Sensores e IoT (Internet das Coisas):** Dispositivos que coletam e transmitem dados em tempo real sobre variáveis como temperatura, umidade, localização e outras condições relevantes para a qualidade e rastreabilidade do café. Segundo Massruhá (2020), estes sensores podem ser instalados em lavouras, armazéns, containers e outros pontos da cadeia produtiva, gerando informações precisas e objetivas que complementam os registros manuais.
3. **Sistemas de Informação Geográfica (SIG):** Ferramentas que permitem a coleta, armazenamento, processamento e análise de dados georreferenciados, facilitando a

identificação e o mapeamento de áreas de produção, rotas de transporte e pontos de distribuição. Silva (2021) ressalta a importância do georreferenciamento para a certificação de origem e a valorização de cafés de regiões específicas.

### **Sistemas de Armazenamento e Processamento de Dados:**

1. **Bancos de dados relacionais:** Sistemas tradicionais de armazenamento estruturado de dados, que permitem o registro e a consulta de informações sobre todas as etapas da cadeia produtiva. Embora eficientes para muitas aplicações, estes sistemas geralmente são centralizados e podem apresentar limitações em termos de segurança, transparência e imutabilidade dos registros.
2. **Computação em nuvem:** Plataformas que permitem o armazenamento, processamento e acesso remoto a dados, facilitando a integração e o compartilhamento de informações entre diferentes atores da cadeia produtiva. Massruhá (2020) destacam que a computação em nuvem tem democratizado o acesso a recursos computacionais avançados, permitindo que pequenos e médios produtores utilizem sistemas de gestão e rastreabilidade sem a necessidade de investimentos significativos em infraestrutura de TI.
3. **Blockchain:** Tecnologia de registro distribuído que permite o armazenamento seguro, transparente e imutável de informações, sem a necessidade de uma autoridade central. Segundo Perfect Daily Grind (2021), o blockchain tem se mostrado particularmente adequado para sistemas de rastreabilidade no café, pois garante a integridade e a confiabilidade dos dados ao longo de toda a cadeia produtiva.

### **Blockchain e Rastreabilidade no Café:**

O blockchain tem recebido atenção especial como tecnologia aplicável à rastreabilidade na cadeia produtiva do café, devido às suas características únicas que atendem a requisitos fundamentais de sistemas de rastreabilidade eficientes. Perfect Daily Grind (2021) destaca as seguintes vantagens do blockchain para a rastreabilidade do café:

1. **Imutabilidade:** Uma vez registradas no blockchain, as informações não podem ser alteradas ou deletadas, garantindo a integridade e a confiabilidade dos dados ao longo do tempo. Esta característica é particularmente importante para evitar fraudes e adulterações em certificações e declarações de origem.
2. **Transparência:** Todos os participantes autorizados da rede têm acesso às mesmas informações, criando um ambiente de confiança e responsabilidade compartilhada. Esta transparência permite que compradores, certificadores e consumidores verifiquem a autenticidade das informações sobre origem, qualidade e sustentabilidade do café.

3. **Descentralização:** O blockchain opera como um sistema distribuído, sem a necessidade de uma autoridade central para validar ou armazenar os dados. Esta característica reduz riscos de manipulação, censura ou perda de informações devido a falhas em sistemas centralizados.
4. **Rastreabilidade completa:** Cada transação ou evento registrado no blockchain está conectado aos registros anteriores, formando uma cadeia ininterrupta de informações que permite rastrear o café desde a fazenda até o consumidor final.
5. **Tokenização:** Possibilidade de criar representações digitais únicas (tokens) para lotes específicos de café, facilitando o rastreamento e a verificação de autenticidade ao longo da cadeia produtiva.

Perfect Daily Grind (2021) cita exemplos de iniciativas que utilizam blockchain para rastreabilidade do café, como a plataforma IBM Food Trust, utilizada por grandes empresas como Starbucks e Nestlé, e projetos desenvolvidos por cooperativas como a Cooxupé no Brasil, que permitem o rastreamento detalhado do café desde a fazenda até o consumidor final.

No entanto, a implementação de sistemas de rastreabilidade baseados em blockchain ainda enfrenta desafios, especialmente para pequenos e médios produtores. Estes desafios incluem a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada, o custo de implementação e manutenção, a complexidade técnica e a necessidade de capacitação dos usuários. Além disso, a eficácia destes sistemas depende da participação e colaboração de todos os atores da cadeia produtiva, o que pode ser difícil de alcançar em um setor tradicionalmente fragmentado.

Diante deste cenário, Peron (2024) destacam a importância de desenvolver soluções de rastreabilidade que sejam acessíveis, intuitivas e adaptadas às necessidades específicas dos diferentes perfis de produtores, combinando tecnologias avançadas como blockchain com interfaces amigáveis e processos simplificados que facilitem a adoção e utilização por usuários com diferentes níveis de letramento digital.

## 2.4 DESIGN CENTRADO NO USUÁRIO PARA CONTEXTO RURAL

### 2.4.1 Princípios e Métodos

O Design Centrado no Usuário (DCU) é uma abordagem de design que coloca as necessidades, capacidades e comportamentos dos usuários no centro do processo de desenvolvimento de produtos e serviços. Segundo Nunes (2024), esta abordagem baseia-se



no princípio de que os sistemas devem ser adaptados às características e necessidades dos usuários, e não o contrário.

Os princípios fundamentais do Design Centrado no Usuário, conforme definidos pela norma ISO 9241-210, incluem:

1. **Envolvimento ativo dos usuários:** Os usuários devem ser envolvidos em todas as etapas do processo de design, desde a identificação de necessidades até a avaliação de protótipos e soluções finais.
2. **Compreensão clara do contexto de uso:** O design deve considerar as características dos usuários, suas tarefas, objetivos e o ambiente físico, social e cultural em que o sistema será utilizado.
3. **Iteração e refinamento contínuo:** O processo de design deve ser iterativo, com ciclos de desenvolvimento, teste e refinamento baseados no feedback dos usuários.
4. **Abordagem multidisciplinar:** O design deve envolver profissionais de diferentes áreas, como design, engenharia, psicologia, antropologia e outras disciplinas relevantes para o contexto específico.
5. **Avaliação centrada no usuário:** A avaliação da usabilidade e da experiência do usuário deve ser realizada em condições reais ou simuladas de uso, com participação direta dos usuários-alvo.

Nunes (2024) destaca que o processo de Design Centrado no Usuário geralmente segue quatro etapas principais:

1. **Pesquisa e análise:** Compreensão do contexto, identificação das necessidades dos usuários, definição de requisitos e estabelecimento de critérios de sucesso.
2. **Ideação e conceituação:** Geração de ideias, desenvolvimento de conceitos e criação de protótipos iniciais baseados nas necessidades identificadas.
3. **Prototipagem e teste:** Desenvolvimento de protótipos funcionais ou simulações que permitam aos usuários interagir com o sistema e fornecer feedback.
4. **Implementação e avaliação:** Desenvolvimento da solução final, implementação no contexto real de uso e avaliação contínua para identificar oportunidades de melhoria.

Para aplicar estes princípios e métodos, o Design Centrado no Usuário utiliza diversas técnicas e ferramentas, como entrevistas, observação participante, grupos focais, personas, jornadas do usuário, prototipagem rápida, testes de usabilidade e análise de métricas de uso. A escolha das técnicas mais adequadas depende do contexto específico, dos recursos disponíveis e das características dos usuários-alvo.

## 2.4.2 Particularidades do Contexto Rural

O design de soluções tecnológicas para o contexto rural apresenta particularidades e desafios específicos que devem ser considerados em uma abordagem centrada no usuário. Nunes (2024) identifica as seguintes características distintivas do contexto rural que impactam o processo de design:

1. **Diversidade de perfis e níveis de letramento digital:** O meio rural abriga produtores com diferentes níveis de escolaridade, familiaridade com tecnologia, idade e capacidade de investimento. Esta diversidade exige soluções flexíveis e adaptáveis a diferentes perfis de usuários.
2. **Limitações de infraestrutura:** A falta ou precariedade de acesso à internet, energia elétrica estável e outros recursos tecnológicos em muitas áreas rurais impõe restrições significativas ao design de soluções digitais. Sistemas que funcionam offline ou com conectividade intermitente tornam-se essenciais neste contexto.
3. **Condições ambientais desafiadoras:** O uso de dispositivos tecnológicos no campo enfrenta desafios como exposição ao sol, poeira, umidade, variações de temperatura e outros fatores que podem afetar o desempenho e a durabilidade dos equipamentos.
4. **Rotinas e ciclos de trabalho específicos:** As atividades agrícolas seguem ciclos sazonais e rotinas diárias que podem diferir significativamente de outros contextos. O design deve considerar estes padrões para garantir que as soluções se integrem de forma natural ao fluxo de trabalho dos produtores.
5. **Conhecimento tácito e práticas tradicionais:** Os produtores rurais geralmente possuem um rico conhecimento tácito e práticas tradicionais que devem ser respeitados e incorporados ao design de novas soluções, em vez de simplesmente substituídos por abordagens tecnológicas.
6. **Limitações de tempo e disponibilidade:** Os produtores rurais frequentemente enfrentam limitações de tempo e disponibilidade para participar de processos de design ou aprender a utilizar novas tecnologias, especialmente durante períodos críticos como plantio e colheita.

Diante dessas particularidades, Nunes (2024) propõe adaptações nos métodos tradicionais de Design Centrado no Usuário para o contexto rural:

1. **Imersão e observação participante:** Passar tempo no ambiente rural, observando e participando das atividades cotidianas dos produtores, para compreender profundamente o contexto, as necessidades e os desafios específicos.

2. **Abordagens colaborativas e participativas:** Envolver os produtores rurais como co-criadores das soluções, valorizando seu conhecimento e experiência e promovendo um sentimento de propriedade sobre as tecnologias desenvolvidas.
3. **Prototipagem em contexto real:** Testar protótipos em condições reais de uso no campo, considerando fatores como luminosidade, condições climáticas, uso com mãos sujas ou molhadas e outras situações típicas do trabalho rural.
4. **Design para diferentes níveis de letramento digital:** Criar interfaces intuitivas e acessíveis para usuários com diferentes níveis de familiaridade com tecnologia, utilizando elementos visuais, linguagem simples e fluxos de interação consistentes.
5. **Soluções híbridas e flexíveis:** Desenvolver sistemas que combinem elementos digitais e analógicos, permitindo diferentes formas de interação e registro de informações, de acordo com as preferências e capacidades dos usuários.
6. **Consideração do ecossistema social:** Reconhecer e incorporar ao design as redes sociais e de apoio existentes no meio rural, como associações, cooperativas, extensionistas e lideranças comunitárias, que podem desempenhar papéis importantes na adoção e difusão de novas tecnologias.

### 2.4.3 Experiências Bem-sucedidas

Diversas iniciativas têm demonstrado a eficácia da aplicação de princípios de Design Centrado no Usuário no desenvolvimento de soluções tecnológicas para o contexto rural, especialmente na cafeicultura. Estas experiências oferecem insights valiosos sobre abordagens, métodos e resultados que podem inspirar novos projetos nesta área.

Nunes (2024) apresenta o caso do aplicativo AGENDS, desenvolvido para facilitar o aluguel de máquinas agrícolas entre produtores rurais. O projeto seguiu uma abordagem centrada no usuário, com extensiva pesquisa de campo, entrevistas com produtores e testes de usabilidade em condições reais. Como resultado, o aplicativo apresenta uma interface intuitiva, com ícones grandes e claros, linguagem simples e fluxos de interação otimizados para usuários com diferentes níveis de letramento digital. Além disso, o sistema foi projetado para funcionar com conectividade limitada, permitindo o registro de informações offline e a sincronização posterior quando a conexão estiver disponível.

Peron (2024) descrevem o desenvolvimento do Caderno de Campo para Cafeicultura Orgânica, uma ferramenta híbrida que combina elementos analógicos e digitais para facilitar o registro e a gestão de informações sobre a produção de café. O projeto envolveu a participação ativa de agricultores familiares em todas as etapas do processo, desde a identificação de necessidades até a validação do produto final. O caderno foi projetado considerando as limitações de infraestrutura e letramento digital dos produtores, oferecendo

uma solução acessível e eficiente para o registro de dados necessários para a rastreabilidade e certificação orgânica.

Perfect Daily Grind (2021) relata a experiência da cooperativa Cooxupé no desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade baseado em blockchain para o café produzido por seus associados. O projeto adotou uma abordagem centrada no usuário, com foco na criação de interfaces simples e intuitivas que permitissem aos produtores registrar e acessar informações sobre suas lavouras sem necessidade de conhecimentos técnicos avançados. A solução inclui um aplicativo móvel com funcionamento offline, que permite o registro de dados no campo mesmo em áreas sem conectividade, e um portal web para gestão e visualização das informações por diferentes atores da cadeia produtiva.

Massruhá (2020) apresentam o caso do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo), desenvolvido pela Embrapa, que oferece informações climáticas e ferramentas de apoio à decisão para produtores rurais. O sistema foi projetado com base em extensiva pesquisa com usuários, resultando em uma interface que prioriza a visualização clara de informações críticas e a facilidade de navegação. Além disso, o Agritempo oferece diferentes formas de acesso às informações, incluindo website, aplicativo móvel e boletins impressos, atendendo a usuários com diferentes perfis e preferências.

Silva (2021) destaca a experiência do Programa de Certificação de Cafés Especiais da Região do Cerrado Mineiro, que desenvolveu um sistema de rastreabilidade integrado ao processo de certificação de origem. O projeto envolveu a participação de produtores, cooperativas, torrefadores e outros atores da cadeia produtiva, resultando em uma solução que equilibra rigor técnico e facilidade de uso. O sistema inclui ferramentas digitais para registro e consulta de informações, complementadas por materiais impressos e suporte presencial de técnicos capacitados, criando um ecossistema de apoio que facilita a adoção e utilização da tecnologia pelos produtores.

Estas experiências bem-sucedidas compartilham características comuns que podem ser consideradas boas práticas para o design de soluções tecnológicas no contexto rural:

1. **Envolvimento genuíno dos usuários:** Em todos os casos, os produtores rurais foram envolvidos ativamente em todas as etapas do processo, desde a identificação de necessidades até a validação das soluções.
2. **Compreensão profunda do contexto:** Os projetos basearam-se em uma compreensão detalhada do contexto rural, incluindo aspectos técnicos, sociais, culturais e econômicos que influenciam a adoção e utilização de tecnologias.
3. **Soluções híbridas e flexíveis:** As iniciativas mais bem-sucedidas combinaram elementos digitais e analógicos, oferecendo diferentes formas de interação e registro de informações, de acordo com as preferências e capacidades dos usuários.
4. **Foco na simplicidade e intuitividade:** As interfaces e fluxos de interação foram

projetados para serem simples, intuitivos e acessíveis para usuários com diferentes níveis de letramento digital.

5. **Adaptação às limitações de infraestrutura:** As soluções foram desenvolvidas considerando as limitações de conectividade, energia e outros recursos no meio rural, incluindo funcionalidades offline e mecanismos de sincronização.
6. **Integração com ecossistemas existentes:** Os projetos consideraram e integraram-se às redes sociais e de apoio existentes no meio rural, como cooperativas, associações e serviços de extensão, facilitando a adoção e difusão das tecnologias.
7. **Iteração e melhoria contínua:** As soluções foram desenvolvidas de forma iterativa, com ciclos de feedback e refinamento baseados na experiência real dos usuários.

Estas experiências demonstram que, quando adequadamente adaptados ao contexto rural, os princípios e métodos do Design Centrado no Usuário podem contribuir significativamente para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que sejam não apenas funcionais e eficientes, mas também acessíveis, intuitivas e verdadeiramente úteis para os produtores rurais, incluindo os pequenos e médios cafeicultores.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIC - Associação Brasileira da Indústria de Café. Programas de certificação e qualidade. Technical report, Associação Brasileira da Indústria de Café, Rio de Janeiro, 2024.

Flávio M. Borém. *Qualidade do café: do campo à mesa*. Editora UFLA, Lavras, 2020.

BSCA - Brazil Specialty Coffee Association. Certificação de cafés especiais: critérios e procedimentos. Technical report, Brazil Specialty Coffee Association, São Paulo, 2023.

Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe. Estado atual da agricultura digital no brasil. Technical report, Nações Unidas, Santiago, 2021.

Companhia Nacional de Abastecimento. Coleta de dados das safras de café analisa efeitos climáticos em 2024 e projeções para 2025, 12 2024. URL <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5853-coleta-de-dados-das-safras-de-cafe-analisa-efeitos-climaticos-em-2024-e-pro> Acesso em: 06 maio 2025.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de café. boletim da safra de café - boletim café janeiro 2025. Boletim da safra de café, Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, 2025.

Paula Andrea Alves Duarte and João Batista Ferreira. Benefícios da certificação do café para os produtores e consumidores. *Revista Rumos*, 19(1):1–20, 2019.

EMBRAPA. Rastreabilidade na cadeia produtiva do café: tecnologias e desafios. Technical report, Embrapa Café, Brasília, 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas*. Embrapa, Brasília, 2023.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Artigo - produção dos cafés do brasil ocupa área de 1,9 milhão de hectares em 2024. Technical report, Embrapa, Brasília, 2024. URL <https://www.embrapa.br/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods/busca-de-noticias/-/noticia/90420863/artigo---producao-dos-cafes-do-brasil-ocupa-area-de-19-milhao-d>

- Fernanda Esperidião. *Agricultura 4.0: Desafios e impactos das novas tecnologias digitais no agronegócio brasileiro*. PhD thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.
- Fairtrade International. Padrões fairtrade para café: critérios de certificação. Technical report, Fairtrade International, Bonn, 2024.
- S. S. S. Figueiredo, F. Jardim, and L. O. Sakuda. Radar agtech brasil 2022: Mapeamento das startups do setor agro brasileiro. Relatório técnico, Embrapa; SP Ventures; Homo Ludens, Brasília e São Paulo, 2022. URL [https://radaragtech.com.br/wp-content/uploads/2022/11/relatorio\\_Radar-Agtech-2022\\_Embrapa\\_HomoLudens\\_SPVentures.pdf](https://radaragtech.com.br/wp-content/uploads/2022/11/relatorio_Radar-Agtech-2022_Embrapa_HomoLudens_SPVentures.pdf).
- International Organization for Standardization. Iso 22005:2007: Traceability in the feed and food chain — general principles and basic requirements for system design and implementation, 2007.
- Instituto Agronômico de Campinas. Histórico do desenvolvimento do cultivo do café no brasil. Technical report, IAC, Campinas, 2020. URL <https://www.iac.sp.gov.br/media/publicacoes/iacdoc34.pdf>.
- A. Klergman. Tecnologias digitais na agricultura: oportunidades e desafios para a cafeicultura brasileira. *Revista Brasileira de Agricultura Digital*, 2(1):45–62, 2021.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução normativa nº 77, de 16 de novembro de 2023. Technical report, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2023. Publicado no Diário Oficial da União, Seção 1, p. 4.
- Rafael Marquese and Dale Tomich. O vale do paraíba escravista e a formação do mercado mundial do café no século xix. In Keila Grinberg and Ricardo Salles, editors, *O Brasil Imperial*. Civilização Brasileira, Rio de Janeiro, 2019.
- Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá. Agro 4.0: rumo à agricultura digital. In Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá et al., editors, *Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura*. Embrapa, Brasília, 2020.
- Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá and Maria Angelica de Andrade Leite. Agro 4.0 – rumo à agricultura digital. Technical report, Embrapa, Brasília, 2017a. URL <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1073150/1/PL-Agro4.0-JC-na-Escola.pdf>.
- Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá and Maria Angelica de Andrade Leite. Agro 4.0 – rumo à agricultura digital. *JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil*, 2:128–143, 2017b.

- José Braz Matiello. *Cultura de café no Brasil: manual de recomendações*. Procafé, Rio de Janeiro, 2 edition, 2020.
- Vinícius Apolinário Mundim, Mayara Abadia Delfino dos Anjos, Dênia Aparecida de Amorim, and Simone Teles da Silva Costa. Certificação do café: Contribuições ao produtor, consumidor e desenvolvimento sustentável. *GETEC*, 13(33):1–19, 2024.
- Matheus Marques Nunes. Agends: um protótipo de aplicativo para o aluguel de máquinas agrícolas, 4 2024. URL <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/8ab3f7d2-c707-43ad-bd4f-9cb1f8da9200>. Orientador: João Batista de Souza Neto. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/items/8ab3f7d2-c707-43ad-bd4f-9cb1f8da9200>>. Acesso em: 6 maio 2025.
- Gessuir Oliveira and Eduardo Eugênio Spers. O impacto da certificação do café nos custos de produção e preço. *BASE - Revista de Administração e Contabilidade da UNISINOS*, 15(2):85–99, 2018.
- Marcos Giovane da Silva Oliveira. *Cafés especiais, rastreabilidade e segurança do alimento: determinantes do comportamento de consumo na perspectiva dos valores pessoais*. PhD thesis, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021. URL [http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/48430/2/DISSERTA%C3%87%C3%830\\_Caf%C3%A9s%20especiais%2C%20rastreabilidade%20e%20seguran%C3%A7a%20do%20alimento%20determinantes%20do%20comportamento%20de%20consumo%20na%20perspectiva%20dos%20valores%20pessoais.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/48430/2/DISSERTA%C3%87%C3%830_Caf%C3%A9s%20especiais%2C%20rastreabilidade%20e%20seguran%C3%A7a%20do%20alimento%20determinantes%20do%20comportamento%20de%20consumo%20na%20perspectiva%20dos%20valores%20pessoais.pdf).
- Victor Ferreira Pereira. Certificação e rastreabilidade na cafeicultura brasileira: impactos e perspectivas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 62(1):1–18, 2024.
- Perfect Daily Grind. Decifrando a relação entre blockchain e rastreabilidade no café, 12 2021. URL <https://perfectdailygrind.com/pt/2021/12/20/decifrando-a-relacao-entre-blockchain-e-rastreabilidade-no-cafe/>. Acesso em: 06 maio 2025.
- I. B. Peron. Sistemas agroflorestais e consórcios na cultura do café. Technical report, Incaper, Vitória, ES, 2024.
- Rainforest Alliance. Manual de certificação para produtores de café. Technical report, Rainforest Alliance, Nova York, 2023.
- Sabrina Ramos. Conceito e aplicação da rastreabilidade de alimentos: uma revisão. *Higiene Alimentar*, 37(2):10–15, 2023. URL <https://higienealimentar.com.br/wp-content/uploads/2023/09/Artigo-HA-CONCEITO-E-APLICACAO-DA-RASTREABILIDADE-DE-ALIMENTOS-UMA-REVISAO.pdf>.



- Cristiane Ferreira Rocha and Adriano dos Reis Lucente. Agricultura de precisão e a conectividade no campo: uma revisão bibliográfica narrativa dos desafios de alcance e repasse de dados em tempo real. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 11(2):134–145, 2021. URL [https://www.researchgate.net/publication/386129985\\_Agricultura\\_de\\_precisao\\_e\\_a\\_conectividade\\_no\\_campo\\_uma\\_revisao\\_bibliografica\\_narrativa\\_dos\\_desafios\\_de\\_alcance\\_e\\_repasse\\_de\\_dados\\_em\\_tempo\\_real](https://www.researchgate.net/publication/386129985_Agricultura_de_precisao_e_a_conectividade_no_campo_uma_revisao_bibliografica_narrativa_dos_desafios_de_alcance_e_repasse_de_dados_em_tempo_real).
- M. G. Silva. Cafés especiais, rastreabilidade e segurança do alimento: determinantes do comportamento de consumo na perspectiva dos valores pessoais. Master's thesis, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.
- Marcos Giovane Silva and Paulo César Fiorini. Qualidade e sustentabilidade: sistemas de certificação do café sob a ótica dos pilares da qualidade. *Revista Agrogeoambiental*, 10(1): 107–121, 2018. URL <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1159>.
- Eduardo Eugênio Spers and Decio Zylbersztajn. Segurança do alimento e rastreabilidade: o caso bse. *Revista de Administração Eletrônica*, 3(1):1–19, 2004. URL <https://www.scielo.br/j/raeel/a/GJsJxBxrfTFMc9R8JGzHSnF/>.
- União Europeia. Regulamento (ue) 2018/848 do parlamento europeu e do conselho, de 30 de maio de 2018, relativo à produção biológica e à rotulagem dos produtos biológicos e que revoga o regulamento (ce) n.º 834/2007 do conselho. *Jornal Oficial da União Europeia*, L 150, jun 2018. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0848>.
- Paulo Henrique Montagnana Vicente. Marcas, indicações geográficas, selos e certificações de rastreabilidade em busca da certeza da origem e do conteúdo: o caso do café da região do cerrado mineiro. *Revista de Administração, Contabilidade e Economia*, 18(2):605–634, 2019. URL [https://www.researchgate.net/publication/302494741\\_MARCAS\\_INDICACOES\\_GEOGRAFICAS\\_SELOS\\_E\\_CERTIFICACOES\\_DE\\_RASTREABILIDADE\\_EM\\_BUSCA\\_DA\\_CERTEZA\\_DA\\_ORIGEM\\_E\\_DO\\_CONTEUDO\\_O\\_CASO\\_DO\\_CAFE\\_DA\\_REGIAO\\_DO\\_CERRADO\\_MINEIRO](https://www.researchgate.net/publication/302494741_MARCAS_INDICACOES_GEOGRAFICAS_SELOS_E_CERTIFICACOES_DE_RASTREABILIDADE_EM_BUSCA_DA_CERTEZA_DA_ORIGEM_E_DO_CONTEUDO_O_CASO_DO_CAFE_DA_REGIAO_DO_CERRADO_MINEIRO).