



THACYO BRUNO CUSTÓDIO DE MORAIS

**O “PRODUTOR DO FUTURO”: TECNOLOGIAS DIGITAIS E
ATRIBUTOS PERCEBIDOS DE INOVAÇÃO**

**LAVRAS - MG
2025**

THACYO BRUNO CUSTÓDIO DE MORAIS

**O “PRODUTOR DO FUTURO”: TECNOLOGIAS DIGITAIS E ATRIBUTOS
PERCEBIDOS DE INOVAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Administração, área de concentração em Gestão Estratégica, Marketing e Inovação para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Paulo Henrique Montagnana Vicente Leme
Orientador

Prof^ª. Dra. Elisa Guimarães Cozadi
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Morais, Thacyo Bruno Custódio de.

O “Produtor do Futuro” : tecnologias digitais e atributos percebidos de inovação /
Thacyo Bruno Custódio de Moraes. - 2025.
103 p. : il.

Orientador: Paulo Henrique Montagnana Vicente Leme

Coorientadora: Elisa Guimarães Cozadi

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. Teoria da difusão de inovações. 2. Agricultura digital. 3. Cafeicultura. 4.
Fairtrade. I. Leme, Paulo Henrique Montagnana Vicente. II. Cozadi, Elisa Guimarães.
III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

THACYO BRUNO CUSTÓDIO DE MORAIS

**O “PRODUTOR DO FUTURO”: TECNOLOGIAS DIGITAIS E ATRIBUTOS
PERCEBIDOS DE INOVAÇÃO**

**THE ‘PRODUCER OF THE FUTURE’: DIGITAL TECHNOLOGIES AND PERCEIVED
ATTRIBUTES OF INNOVATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Administração, área de concentração em Gestão Estratégica, Marketing e Inovação, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de maio de 2025.

Dr. Paulo Henrique Montagnana Vicente Leme

Dr.^a Elisa Guimarães Cozadi

Dr. Cléber Carvalho de Castro

Dr. Daniel Leite Mesquita

Dr. Rodrigo Marçal Gandia

UFLA

UFLA

UFLA

UFLA

FAGAMMON

Dr. Paulo Henrique Montagnana Vicente Leme
Orientador

Prof.^a Dr.^a Elisa Guimarães Cozadi
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2025**

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Lavras (UFLA), da Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural (FUNDECC), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG - APQ 02264-22) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - processos nº2022/09319-9 e nº 2023/18453-3).

Agradeço também a todos que me acompanharam no caminho da construção deste trabalho.

Em especial, agradeço à minha família, à UFLA, aos amigos do AGRITECH UFLA, aos amigos do PPGA UFLA, aos amigos da Agência Zetta, à COOMAP e seus cooperados, aos amigos feitos no movimento Comércio Justo, a todos que tive o prazer de chamar de alunos nesta vida e a todos os professores que me formaram, do ensino infantil e musical à pós-graduação.

Se eu pude chegar tão longe, foi por causa do apoio e do carinho de vocês.

*“Da Sant’Ana das Lavras do Funil
Para os campos de todo o Brasil.”*

Hino da Universidade Federal de Lavras.

*“Transformar e digitalizar o agronegócio brasileiro,
de forma sustentável e inclusiva,
sem deixar nenhum produtor para trás.”*

Lema do AGRITECH UFLA.

RESUMO

A agricultura digital pode contribuir para o aumento da oferta mundial de alimentos e para a ampliação da competitividade e sustentabilidade do agronegócio brasileiro. Porém, essas tecnologias não são amplamente adotadas no campo e o momento da decisão de adoção de inovações varia entre os indivíduos. Entre os perfis de adotantes de inovações, os inovadores são importantes pois são os primeiros a adotar inovações em um grupo e os responsáveis por introduzir novas ideias em sistemas sociais. O presente estudo busca responder à seguinte questão: como se caracterizam os atributos percebidos de inovação de produtores rurais de perfil inovador sobre tecnologias digitais para a agricultura? Neste estudo qualitativo, foram entrevistados 14 cafeicultores considerados inovadores da Cooperativa Mista Agropecuária de Paraguaçu (COOMAP) em relação às tecnologias digitais aplicadas à agricultura, por meio de um estudo de caso. Analisaram-se cinco atributos percebidos de inovação de Rogers (2003): vantagens relativas, compatibilidade, complexidade, experimentação e observação. Os resultados revelaram que eficiência operacional, acesso à informação, comodidade e segurança são percebidas como vantagens pelos produtores. A compatibilidade é alcançada no alinhamento das tecnologias às necessidades operacionais e aos valores pessoais. A complexidade apresentou reações diferentes, destacando tanto a curiosidade quanto a ansiedade perante as novas tecnologias. Já a experimentação e a observação apareceram como etapas cruciais para reduzir incertezas, por meio da observação de resultados e realização de testes em pequena escala. Neste cenário, a adoção de tecnologias digitais apresenta caráter gradual, em que soluções de baixa complexidade alcançam ampla difusão, aquelas de complexidade intermediária são adotadas de forma parcial e as de alta complexidade são utilizadas apenas ocasionalmente. As informações sobre tecnologias digitais são obtidas por meio de canais institucionais, plataformas digitais e redes interpessoais. Apesar do interesse em inovação, os agricultores enfrentam barreiras como conectividade de internet limitada, escassez de mão de obra qualificada e insegurança. As principais contribuições teóricas deste trabalho residem no enfoque em produtores inovadores e na criação de um protocolo para identificação de produtores rurais inovadores. Os resultados sugerem que cooperativas, órgãos de extensão e empresas priorizem a divulgação de informações, demonstrações práticas, testes colaborativos e suporte. Universidades devem desenvolver material didático e realizar eventos. Produtores devem participar ativamente de redes e documentar resultados de testes.

Palavras-chave: Teoria da Difusão de Inovações; Agricultura Digital; Cafeicultura; Fairtrade.

ABSTRACT

Digital agriculture can contribute to increasing the global food supply and to enhancing the competitiveness and sustainability of Brazilian agribusiness. However, these technologies are not widely adopted in rural areas, and the timing of innovation adoption decisions varies among individuals. Among the adopter categories, innovators are particularly important, as they are the first to adopt new technologies within a group and are responsible for introducing new ideas into social systems. This study aims to answer the following question: how are the perceived innovation attributes of rural producers with an innovator profile characterized regarding digital technologies in agriculture? In this qualitative case study, 14 coffee farmers from the Cooperativa Mista Agropecuária de Paraguaçu (COOMAP), identified as innovators in relation to digital technologies in agriculture, were interviewed. The analysis focused on five perceived innovation attributes proposed by Rogers (2003): relative advantages, compatibility, complexity, trialability, and observability. The results revealed that operational efficiency, access to information, convenience, and safety are perceived as key advantages by farmers. Compatibility is achieved when technologies align with operational needs and personal values. Complexity elicited mixed reactions, highlighting both curiosity and anxiety toward new technologies. Trialability and observability emerged as crucial stages to reduce uncertainty, through result observation and small-scale testing. In this context, the adoption of digital technologies occurs gradually: low-complexity solutions are widely adopted, intermediate-complexity solutions are partially adopted, and high-complexity ones are used only occasionally. Information about digital technologies is accessed through institutional channels, digital platforms, and interpersonal networks. Despite their interest in innovation, farmers face barriers such as limited internet connectivity, a shortage of qualified labor, and insecurity. The main theoretical contributions of this study lie in its focus on innovative producers and in the creation of a protocol to identify innovative rural producers. The results suggest that cooperatives, extension agencies, and companies should prioritize information dissemination, practical demonstrations, collaborative testing, and continuous support. Universities should develop teaching materials and organize events. Farmers should actively participate in exchange networks and document the results of their tests.

Keywords: Diffusion of Innovations Theory; Digital Agriculture; Coffee Farming; Fairtrade.

INDICADORES DE IMPACTO

A pesquisa caracterizou os atributos percebidos de inovação que influenciam a adoção de tecnologias digitais por 14 cafeicultores inovadores da COOMAP, cooperativa certificada Fairtrade sediada em Paraguaçu, Minas Gerais, que reúne 670 produtores de café. Os potenciais resultados sociais incluem o fortalecimento de redes de troca de conhecimento entre produtores, cooperativa, pesquisadores e empresas, estimulando práticas colaborativas de teste e difusão de inovações. No plano tecnológico, o estudo gerou um protocolo replicável de identificação de produtores inovadores e recomendações para acelerar o uso de soluções digitais de baixa complexidade, que podem reduzir o risco percebido e aumentar a eficiência operacional das lavouras, o que pode gerar ganhos econômicos para os produtores rurais. Culturalmente, a pesquisa, como parte do projeto UFLA Pelo Comércio Justo, reforça os princípios do Comércio Justo ao valorizar a autonomia do agricultor familiar e a sustentabilidade do território. O trabalho apresenta contribuição potencial para a extensão universitária ao articular conhecimentos técnicos e empíricos em ações orientadas à inovação no campo, com envolvimento de 3 docentes, 6 discentes e 3 técnicos da cooperativa nas etapas de diagnóstico, análise e devolutiva. Os impactos relacionam-se principalmente às áreas temáticas 4 – Educação e 7 – Tecnologia e Produção da Política Nacional de Extensão. Contribuem ainda para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS), especialmente os de número 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao promover práticas inovadoras e disseminação de informações voltadas à eficiência produtiva, à inclusão digital e à melhoria da qualidade de vida no meio rural.

IMPACT INDICATORS

The research characterized the perceived innovation attributes that influence the adoption of digital technologies by 14 innovative coffee growers from COOMAP, a Fairtrade-certified cooperative based in Paraguaçu, Minas Gerais, which brings together 670 coffee producers. The potential social outcomes include the strengthening of knowledge-exchange networks among farmers, the cooperative, researchers, and companies, fostering collaborative practices for testing and disseminating innovations. Technologically, the study generated a replicable protocol for identifying innovative producers and recommendations to accelerate the use of low-complexity digital solutions, which can reduce perceived risk and increase operational efficiency in coffee plantations, thereby creating economic gains for rural producers. Culturally, the research—part of the “UFLA for Fair Trade” project—reinforces Fair Trade principles by valuing family farmers’ autonomy and the sustainability of their territory. The work presents a potential contribution to university outreach by integrating technical and empirical knowledge into innovation-oriented actions in rural areas. It involved 3 faculty members, 6 students, and 3 cooperative technicians in the stages of diagnosis, analysis, and feedback. The impacts are mainly related to Thematic Areas 4 – Education and 7 – Technology and Production of the National Extension Policy. The initiative also contributes to the UN Sustainable Development Goals (SDGs), particularly Goals 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture), 8 (Decent Work and Economic Growth), 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), and 12 (Responsible Consumption and Production), by promoting innovative practices and the dissemination of information aimed at productive efficiency, digital inclusion, and improved quality of life in rural areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Variáveis que determinam a taxa de adoção de inovações para a Teoria da Difusão de Inovações	31
Figura 2.2 - Número de novos adotantes todos os anos e o número acumulado de adotantes de sementes híbridas de milho em duas comunidades de Iowa, EUA.	32
Figura 2.3 - Categorias de adotantes com base na inovatividade, de acordo com a Teoria da Difusão de Inovações.....	33
Figura 4.1 - Evolução do volume anual de publicações da amostra de artigos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura coletada na base Scopus.....	49
Figura 4.2 - Distribuição da produção científica por países de origem dos autores dos trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus, por artigos publicados por um único país (SCP) e por artigos publicados por 2 ou mais países em conjunto (MCP).....	56
Figura 4.3 - Mapa temático dos trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.....	57
Figura 4.4 - Rede de cocitação de trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.....	59
Figura 4.5 - Rede de cocitação de autores sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.....	60
Figura 4.6 - Mapa de direções de pesquisas futuras sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura feito a partir da amostra coletada na base Scopus.	61
Figura 4.7 - Mapa de direções de pesquisas futuras sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura feito a partir da amostra coletada na base Scopus.	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Framework de pesquisa utilizado.....	19
Quadro 2.2 - Generalizações de Rogers (2003) sobre os atributos percebidos de inovação....	30
Quadro 2.3 - Tecnologias envolvidas na agricultura digital.....	36
Quadro 3.1 - Framework de pesquisa utilizado.....	41
Quadro 3.2 - String de busca utilizada na base indexadora Scopus.....	42
Quadro 3.3 - Características dos fazendeiros inovadores, de acordo com Rogers (2003) e Diederer et al. (2003).....	45
Quadro 3.4 - Descrição dos entrevistados.....	46
Quadro 4.1 - Ranking de trabalhos mais citados sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura da amostra coletada na base Scopus por número de citações.....	50
Quadro 4.2 - Autores que mais publicaram trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.....	53
Quadro 4.3 - Trabalhos mais citados pelos trabalhos da amostra de artigos coletada sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.....	54
Quadro 4.4 - Periódicos que mais publicaram trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.....	55
Quadro 4.5 - Atributos percebidos de inovação de acordo com as respostas dos entrevistados.....	98

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Inovação.....	17
2.2	Teorias utilizadas para entender o processo de adoção de inovações na agricultura	18
2.2.1	A Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (2003)	21
2.2.1.1	Atributos percebidos de inovação.....	24
2.2.1.1.1	Vantagem relativa	25
2.2.1.1.2	Compatibilidade.....	27
2.2.1.1.3	Complexidade, observação e experimentação.....	28
2.2.1.1.4	Outras variáveis que determinam a taxa de adoção.....	30
2.2.1.2	Categorias de adotantes de inovações	31
2.3	Tecnologias digitais na agricultura	35
3.	METODOLOGIA.....	41
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	Adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura: uma revisão bibliométrica	48
4.2	Caracterização do perfil dos entrevistados	62
4.2.1	Características demográficas dos produtores rurais inovadores.....	62
4.2.2	Caracterização dos canais de obtenção de informações sobre tecnologias digitais .	64
4.2.3	Caracterização das tecnologias digitais utilizadas pelos produtores rurais inovadores	70
4.3	Atributos percebidos de inovação de produtores rurais inovadores	75
4.3.1	Vantagem relativa	76
4.3.2	Compatibilidade.....	79
4.3.3	Complexidade.....	84
4.3.4	Observação	87

4.3.5	Experimentação	92
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99

REFERÊNCIAS

ANEXO A – ROTEIRO DE PERGUNTAS PARA OS PRODUTORES RURAIS

1. INTRODUÇÃO

O futuro da humanidade reserva desafios que demandarão esforço coletivo para serem solucionados. É esperado que a população mundial alcance quase 10 bilhões de indivíduos em 2050, e prover nutrição adequada para todas essas pessoas será uma das principais questões a serem enfrentadas pela humanidade (UN, 2019). Uma das possíveis soluções para esse desafio é a adoção de tecnologias digitais na agricultura. Tecnologias digitais são, de forma geral, tecnologias que utilizam algum tipo de computador para funcionar (Ribeiro, 2024). A utilização destes dispositivos permite maior volume e eficiência na produção de alimentos (Bolfé et al., 2020a). Entre as ferramentas incluídas nesse rol de tecnologias estão os sensores remotos, a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IOT), o Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* - GPS) e a Inteligência Artificial.

Embora as tecnologias digitais tenham potencial para aumentar os ganhos e reduzir os desperdícios nas cadeias agrícolas, sua adoção massiva enfrenta alguns obstáculos, como custos elevados e conectividade limitada no campo (Bolfé et al., 2020). Além destes obstáculos, há questões relacionadas ao comportamento dos indivíduos, que afetam o processo de adoção de inovações (Manzano; Pérez, 2023).

Dentre as várias teorias utilizadas para explicar o comportamento dos indivíduos frente às inovações, temos a Teoria da Difusão de Inovações, de Rogers (2003). Para o autor, os indivíduos avaliam uma inovação com base em cinco atributos percebidos: vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, experimentação e observação. Esses fatores, segundo a teoria, explicam uma porcentagem significativa da velocidade da adoção de inovações pelos indivíduos de um grupo.

Para Rogers (2003), o processo de difusão de inovações em um grupo pressupõe que nem todos os seus membros adotarão inovações ao mesmo tempo. Para tanto, o autor propôs cinco categorias de adotantes, considerando o momento em que os indivíduos decidem aderir a uma inovação: inovadores, primeiros adeptos, maioria inicial, maioria tardia e retardatários. Nestas categorias, os inovadores se destacam como os membros mais ativos dos processos de adoção e difusão de inovações (Rogers, 2003). São estes atores que controlam o fluxo de inovações para os grupos de que fazem parte, além de liderar os esforços de difusão de inovações para outros indivíduos.

Apesar das críticas à Teoria de Difusão de Inovações, como sua linearidade e reducionismo (Pathak; Brown; Best, 2019; Fu; Huang, 2024), ela foi desenvolvida em um contexto agrícola, sendo utilizada em diversos estudos da área das ciências agrárias para estudar

a adoção e a difusão de inovações, bem como serviu de base para outros modelos teóricos que buscam entender essas temáticas (García-Avilés, 2020; Karbo et al., 2024).

Os trabalhos que buscam entender o comportamento de adoção de tecnologias digitais na agricultura sugerem que fatores como o custo da inovação, o retorno do investimento, a percepção de utilidade e a facilidade de uso percebidas influenciam a adoção dessas tecnologias (Aubert; Schroeder; Grimaudo, 2012; Dan; Osterheider; Raupp, 2019). Fatores socioeconômicos, como idade e nível de escolaridade, também foram identificados como relevantes para explicar a velocidade de adoção de inovações digitais por alguns estudos, como o de Mittal e Mehar (2016) e de Läßle e Rensburg (2011). Dados os fatos expostos, este estudo busca responder o seguinte problema de pesquisa: como se caracterizam os produtores rurais inovadores e seus atributos percebidos de inovação sobre tecnologias digitais para a agricultura?

O objetivo geral deste trabalho é **caracterizar os atributos percebidos de inovação sobre tecnologias digitais para a agricultura e os produtores rurais de perfil inovador**. Para alcançar o objetivo geral, propõem-se os seguintes objetivos específicos: **i) Mapear a literatura sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura; ii) Caracterizar os produtores rurais inovadores na cooperativa de realização do estudo; iii) Caracterizar os atributos percebidos de inovação de produtores rurais de perfil inovador sobre tecnologias digitais para a agricultura**. O estudo pode ser justificado por diversas razões. Primeiro, pela posição do Brasil no cenário agropecuário mundial. Para se manter o papel de destaque na produção mundial de produtos vegetais e animais, que representam quase 25% do Produto Interno Bruto do país, é necessário que uma parcela significativa dos produtores rurais adote as tecnologias digitais disponíveis (Becker, 2023). Entender como o processo de adoção e difusão de tecnologias digitais acontece entre os produtores rurais inovadores e quais variáveis individuais o afetam ajudará a criar estratégias para acelerar a introdução de inovações digitais no campo.

Também, busca-se aprofundar o campo dos estudos sobre difusão de inovações, adicionando um trabalho teórico-empírico baseado nestas ideias. Não só espera-se trazer volume para esta área da ciência, como ampliar o escopo de pesquisas qualitativas realizadas na área.

Para a universidade, o trabalho com as cooperativas de café certificadas Fair Trade é importante de se realizar pois a Universidade Federal de Lavras é uma instituição reconhecida como “Universidade Pelo Comércio Justo”. As Universidades pelo Comércio Justo apoiam as ações para o fortalecimento do movimento Fair Trade, capacitando produtores rurais e promovendo o consumo de seus produtos. Com a realização deste estudo, as informações sobre

os produtores estudados vão proporcionar informações valiosas para que as COOMAP e outras cooperativas fortaleçam ainda mais o seu trabalho na promoção do desenvolvimento de suas comunidades e fortalecimento de suas marcas.

Além desta Introdução, a dissertação está estruturada segundo as seguintes seções: Referencial Teórico, Metodologia, Resultados e Discussão e Considerações Finais. O Referencial Teórico traz a explicação dos conceitos de inovação, Teoria da Difusão de Inovações e Agricultura Digital para o entendimento do trabalho. A revisão de literatura foi incluída na seção de Resultados e Discussão, por se tratar de uma revisão sistemática de literatura que atende ao primeiro objetivo específico do trabalho. Na seção de Metodologia, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados, incluindo caracterização, coleta e análise de dados. Na seção de Resultados e Discussão, apresentam-se as análises dos dados coletados em diálogo com a fundamentação teórica. Por fim, as Considerações Finais sintetizam as principais contribuições do estudo, apontam suas limitações e indicam direções para pesquisas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados conceitos-chave para compreender o processo de adoção e difusão de inovações baseadas em tecnologias digitais na agricultura. Inicia-se com uma definição de inovação, seguida pela análise das teorias que embasam a adoção e difusão de inovações, com destaque para a Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (2003), a qual orienta este trabalho. Por fim, aborda-se o papel das tecnologias digitais na agricultura.

2.1 Inovação

A inovação foi definida de diferentes formas ao longo do tempo, a partir de variadas abordagens teóricas. Para Schumpeter e Nichol (1934), a inovação está relacionada à introdução de novos produtos, melhorias em processos produtivos, descoberta de novos mercados, utilização de novas fontes de matérias-primas ou mudanças estruturais em setores econômicos. Segundo a OECD (2005), a inovação é caracterizada pela implementação de melhorias significativas em produtos, processos, práticas organizacionais ou estratégias de marketing. Essa definição amplia o conceito para além do desenvolvimento tecnológico, incluindo também mudanças organizacionais e comerciais. Já para Rogers (2003), inovação é qualquer ideia, prática ou objeto percebido como novo por um indivíduo ou grupo. Nesse caso, o foco está na percepção de novidade por parte do adotante, independentemente de a inovação ser objetivamente recente ou não. Harmancioglu, Droge e Calantone (2009) realizaram uma revisão de estudos sobre a inovação para demonstrar quais são as suas definições e quais as abordagens teóricas utilizadas. A partir da análise de 258 artigos, os autores identificaram que o termo inovação é associado a palavras como radical, incremental, novo e evolucionário. Essas associações são as bases das teorias em inovação e dão substância aos trabalhos publicados sobre o tema.

Das teorias que trabalham com inovação, Harmancioglu, Droge e Calantone (2009), conseguiram identificar dois grupos distintos: os estudos baseados na adoção ou difusão de inovações e os estudos fundamentados na Visão Baseada em Recursos (*Resource-Based View* – RBV), que compartilha semelhanças com a teoria da contingência. Assim como são correntes teóricas diferentes, os seus conceitos de inovação também são distintos.

As correntes teóricas que trabalham com a visão da adoção e difusão de inovações estudam como as inovações se espalham por regiões, organizações e indivíduos e enfatizam o papel das percepções dos usuários na definição do que são inovações. Para os estudiosos desta

corrente de pensamento, uma inovação é uma ideia que é percebida como nova pelas pessoas. Portanto, um produto inovador seria um produto utilizado pela primeira vez por alguém, independentemente se outros indivíduos ou organizações já o tenham utilizado. Como a percepção dos indivíduos é central para essas teorias, variáveis como complexidade e compatibilidade são utilizadas para avaliar o processo de adoção de inovações. Para os estudos de adoção e difusão de inovações, a capacidade de difusão de uma inovação depende das características desta ideia ou objeto e das características dos adotantes.

A Visão Baseada em Recursos investiga a influência dos recursos, das estruturas das organizações, das pessoas e outros atores na concepção e entrega de inovações. Suas ideias vêm de diversas áreas do conhecimento. A ideia central das teorias da RBV é que as organizações têm diferentes habilidades e recursos e, aquelas que detêm recursos superiores, obtêm vantagens competitivas no mercado, que permitem o alcance de lucros extraordinários. Portanto, a inovação se caracteriza como as respostas das organizações às mudanças tecnológicas e de mercado. Ser inovador, no nível organizacional, envolve desenvolver novos produtos, aprender e mudar, além de ter os recursos necessários.

2.2 Teorias utilizadas para entender o processo de adoção de inovações na agricultura

Inovações comumente são apresentadas por meio de tecnologias, as quais podem ser definidas como “um projeto para ação instrumental que reduz a incerteza nas relações de causa e efeito envolvidas na conquista de um resultado desejado” (Rogers, 2003, p. 32). A tecnologia tem dois componentes: (1) *hardware*, que é o veículo físico que materializa a tecnologia e (2) *software*, que é a plataforma de informações do *hardware* (Rogers, 2003).

Dentre as pesquisas que investigam inovações tecnológicas na agricultura, Karbo et al. (2024) revisaram 77 estudos que analisaram a utilização de diferentes teorias para compreender o comportamento de adoção de tecnologias por fazendeiros de países de renda média e baixa, que têm realidades semelhantes aos produtores rurais brasileiros. As teorias que falam sobre a adoção de tecnologias no campo vêm da sociologia, da economia e da psicologia, e podem ser classificadas em cinco categorias diferentes: (1) teorias de difusão; (2) teorias de aceitação de uso; (3) teorias de tomada de decisão; (4) teorias de personalidade; e (5) teorias de estrutura organizacional. As aplicações dessas ideias para entender o processo de adoção e difusão de tecnologias no campo variam da ênfase aos atributos das novas tecnologias ou às características dos produtores rurais.

As teorias de difusão enfatizam o processo de difusão de tecnologias entre os candidatos à adoção. Os estudos baseados nas teorias de aceitação de uso buscam prever como questões comportamentais influenciam um indivíduo a adotar tecnologias. As pesquisas com base nas teorias de tomada de decisão analisam o processo de consideração, pelos indivíduos, de variáveis que impactam a decisão de adotar tecnologias. Teorias da personalidade analisam como características de personalidade afetam a adoção de tecnologias. Os estudos apoiados em teorias sobre a estrutura organizacional buscam entender o quão inovador é o produtor a partir das características da propriedade rural (Karbo et al., 2024).

Embora a descrição do artigo permita entender que se trata de teorias pertencentes somente à corrente teórica dos estudos de inovação preocupados com a adoção e difusão de inovações, a categoria das Teorias de Estrutura Organizacional se assemelha às ideias das teorias baseadas em uma visão de recursos, em que as características, recursos e habilidades da organização definem o quão inovadora e competitiva ela consegue ser (Harmancioglu; Droge; Calantone, 2009).

Os resultados do trabalho de Karbo et al. (2024) revelam que as teorias mais utilizadas para entender o comportamento do produtor rural na adoção de tecnologias em países de média e baixa renda são a Teoria da Utilidade Aleatória, Teoria do Comportamento Planejado e Teoria Decomposta do Comportamento Planejado, Modelo de Aceitação de Tecnologias, Teoria da Utilidade Esperada, Teoria da Maximização da Utilidade, Teoria da Auto Determinação, Teoria da Força do Caráter, Teoria Institucional e a Teoria da Difusão de Inovações.

Os autores pontuam que, muitos estudiosos combinam teorias para desenvolver seus estudos para explicar a adoção de tecnologias digitais e isso pode trazer melhores capacidades de previsão e explicação, reduzindo lacunas de explicação e aprofundando a explicação do fenômeno de adoção de tecnologias no campo. Também, como é o caso de Venkatesh et al. (2003) com a Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia, teóricos combinam as ideias existentes para formar novos modelos explicativos mais robustos para explicar o comportamento de adoção e difusão de inovações. O Quadro 2.1 resume as classificações das teorias analisadas por Karbo et al. (2024), bem como apresenta as limitações teóricas de cada grupo.

Quadro 2.1 - Framework de pesquisa utilizado.

Categoria	Teorias que compõem o grupo	Ênfase	Limitações teóricas
Teorias de difusão	Teoria da Difusão de Inovações;	Entender como acontece o processo de difusão de	Não inclui fatores sociais em suas análises sobre os

Categoria	Teorias que compõem o grupo	Ênfase	Limitações teóricas
	Teoria da Utilidade Aleatória.	tecnologias entre os candidatos à adoção.	comportamentos dos indivíduos.
Teorias de aceitação de uso	Teoria do Comportamento Planejado; Teoria Decomposta do Comportamento Planejado; Modelo de Aceitação de Tecnologia.	Prever como questões comportamentais influenciam um indivíduo a adotar tecnologias	Não inclui fatores sociais em suas análises sobre os comportamentos dos indivíduos.
Teorias de tomada de decisão	Teoria da Utilidade Esperada; Teoria da Maximização da Utilidade; Teoria da Utilidade Aleatória.	Analisar o processo de consideração de variáveis que um indivíduo passa frente à decisão de adotar tecnologias	Supõe que o comportamento de adoção de tecnologias é sempre racional e não inclui fatores sociais em suas análises.
Teorias de personalidade	Teoria da Autodeterminação; Teoria da Força do Caráter.	Analisa como características de personalidade afetam a adoção de tecnologias	Foca apenas nas variáveis internas de personalidade do adotante, excluindo fatores externos que podem afetar o comportamento de adoção de tecnologias.
Teorias de estrutura organizacional	Teoria Institucional	Entender quais são as características da fazenda que explicam o quanto inovador o produtor é	Não aborda o papel dos indivíduos na adoção de tecnologias, bem como não considera fatores de ordem social como relevantes para o processo de adoção de inovações.

Fonte: adaptado de Karbo et al. (2024).

A Teoria do Comportamento Planejado, proposta por Ajzen (1991), afirma ser possível prever os comportamentos dos indivíduos partindo de suas atitudes em relação a três fatores, que são controle comportamental percebido, normas subjetivas e atitude. Quando se fala da utilização de tecnologias, a atitude seria formada pela visão que um indivíduo tem em relação à tecnologia; as normas subjetivas formam a opinião que um indivíduo tem da atitude de outras pessoas em relação à tecnologia; e o controle comportamental percebido diz respeito às crenças que um indivíduo tem sobre sua capacidade de consumir um comportamento (Karbo et al., 2024). Taylor e Todd (1995) propuseram, então, uma extensão à Teoria do Comportamento Planejado, denominada Teoria Decomposta do Comportamento Planejado, cuja contribuição foi desmembrar os construtos propostos por Ajzen (1991) em facilidade de uso percebida,

utilidade percebida, compatibilidade, influência dos pares e superiores, autoeficácia, condições que favorecem as tecnologias e condições facilitadoras de recursos.

O Modelo de Aceitação de Tecnologia, proposto por Davis (1995), considera dois fatores como fundamentais para que os indivíduos adotem novas tecnologias da informação: a facilidade de uso percebida e a utilidade percebida. Para o autor, a utilidade percebida da tecnologia parece ser mais importante para os adotantes do que a sua facilidade de uso. Isto porque as tecnologias costumam ser adotadas em razão do resultado que entregam e os indivíduos se mostram dispostos a lidar com certas dificuldades se a inovação possibilitar uma funcionalidade necessária.

De acordo com Karbo et al. (2024), o grupo das teorias de tomada de decisão compreende a Teoria da Utilidade Esperada, a Teoria da Maximização da Utilidade e a Teoria da Utilidade Aleatória. A Teoria da Utilidade Esperada traz a ideia de que um comportamento de adoção é relacionado ao risco da tomada de decisão. Portanto, quanto mais vantajosa a decisão se mostra em relação ao estado atual, maior a probabilidade de adoção da tecnologia. A Teoria da Maximização da Utilidade diz que os movimentos de adoção são realizados para atingir o nível mais alto possível de satisfação com a tecnologia adotada. A Teoria da Utilidade Aleatória sustenta que a adoção de uma tecnologia pode ocorrer por fatores aleatórios.

A classificação das teorias de personalidade engloba a Teoria da Autodeterminação e a Teoria da Força do Caráter. A Teoria da Autodeterminação mostra como diferentes fatores, e.g. relacionamento, competência e autonomia podem induzir a adoção de tecnologias. A Teoria da Força do Caráter explica que características pessoais do caráter individual, como criatividade e bravura, podem antever o comportamento de adoção de tecnologias.

A Teoria Institucional representa o grupo de teorias da estrutura organizacional. Ao contrário das outras teorias identificadas por Karbo et al. (2024), ela não enfatiza o comportamento individual de adoções, mas como as características da propriedade rural impactam a adoção de tecnologias dentro de suas porteiras. Quando se fala da utilização dessa teoria para estudar a adoção de tecnologias em propriedades rurais, comumente são considerados fatores relevantes o acesso ao crédito, o acesso a serviços de extensão e à informação, a ligação a grupos de produtores rurais, a propriedade da terra, o suporte aos preços e as condições de mercado (Méda et al., 2018).

2.2.1 A Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (2003)

A Teoria da Difusão de Inovações foi publicada por Everett Rogers, pela primeira vez, em 1962, na primeira edição da obra *Diffusion of Innovations*. Nela, analisaram-se 508 trabalhos sobre como os indivíduos e as organizações adotam inovações, tendo suas primeiras aplicações nas Ciências Agrárias. De acordo com Silk et al. (2014), quando uma inovação é introduzida a um público, os indivíduos devem tomar a decisão de adotá-la ou não. Então, as pessoas buscam informações e analisam diversos fatores sobre a inovação para diminuir a incerteza de sua adoção.

A inovação, para Rogers, “é uma ideia, prática ou objeto que é percebido como novo por um indivíduo ou outra unidade de adoção” (Rogers, 2003, p. 31). Inovação não é o mesmo que invenção, pois invenções são produtos, práticas e técnicas inéditos (Silveira; Nascimento; Cardoso, 2020). Assim, enquanto invenções são objetos e ideias que passam a existir a partir de um processo criativo, as inovações são objetos e ideias que já foram criados, mas que são apresentados pela primeira vez a um indivíduo ou grupo. Para compreender como as inovações chegam ao conhecimento dos indivíduos, é necessário também apreender os conceitos de difusão, taxa de adoção e sistema social.

A difusão da inovação é conceituada como a sua comunicação por certos canais entre os membros de um sistema social ao longo do tempo, causando mudanças estruturais e funcionais de forma intencional ou não planejada. As pesquisas que se apoiam nesta teoria indicam que a difusão de uma inovação acontece como um processo comunicativo e social, que tem suas bases nos valores e normas sociais (Atwell; Schulte; Westpal, 2009).

Chama-se de taxa de adoção a “velocidade relativa com que uma inovação é adotada pelos membros de um sistema social” (Rogers, 2003, p. 251), a qual é comumente medida como o número de pessoas que adotam uma inovação em uma unidade de tempo, como dia, mês ou ano.

O sistema social compreende os atores que estão interconectados na resolução de problemas para atingir um objetivo comum. Esses grupos podem ser formais, informais, compostos por organizações ou indivíduos e, ainda, outros sistemas sociais (Rogers, 2003). Para Min, So e Jeong (2021), a difusão é um processo social em que as pessoas conversam umas com as outras sobre as inovações e, por isso, este processo não pode ser compreendido sem considerar o sistema social.

O sistema social ainda compreende dois tipos de indivíduos que impactam a difusão de inovações: os formadores de opinião e os agentes de mudança (Rogers, 2003). Os formadores de opinião são fortemente capazes de influenciar terceiros, mesmo que informalmente, a copiar seu comportamento inovador (Daouda; Bryant, 2016; Manning, 2013). A liderança de opinião

é obtida e conservada com base na habilidade técnica, na inclusão social e na conformidade com as regras do sistema. Estes indivíduos são, comumente, mais abertos a canais externos de comunicação, têm maior nível socioeconômico e são mais inovadores. A sua característica mais evidente, porém, é que eles estão no centro das redes de comunicação do sistema (Rogers, 2003).

Os agentes de mudança, por sua vez, são indivíduos altamente capacitados tecnicamente, internos ou externos ao sistema social que, segundo Rogers (2003), têm como objetivo influenciar a tomada de decisão de adoção de inovações dos indivíduos de acordo com os objetivos de uma agência de mudanças. Estes profissionais podem assumir diversas ocupações, sendo professores, consultores ou agentes de extensão rural, por exemplo. Assim, as agências de mudança podem ser universidades, firmas de consultoria ou empresas de assistência técnica e extensão rural, que representam estes profissionais.

Os agentes de mudança e os formadores de opinião podem trabalhar conjuntamente para estimular a adoção de inovações em um sistema social. Mas, segundo Manning (2013), quando os agentes de mudança usam excessivamente a posição social dos seus parceiros para promover a difusão de inovações isso causa um desgaste para os formadores de opinião, já que a atuação deles como promotores depende do respeito e da confiança com suas conexões.

O sistema social influencia, ainda, o tipo de decisão de inovação que será tomada pelos seus indivíduos, pois a decisão pode ser tanto individual quanto por meio de consenso entre os membros do sistema social. Também, a opção pela adoção ou não-adoção pode ser influenciada pela autoridade daqueles que têm mais poder ou maior status social no grupo (Rogers, 2003).

Todos esses conceitos e agentes agem sobre o processo de decisão da inovação, compreendido como o caminho que um indivíduo percorre desde que conhece uma inovação, até o momento em que a aceita ou rejeita. Este processo pode ser subdividido em cinco fases: conhecimento, persuasão, decisão, implementação e confirmação (Rogers, 2003).

A fase do conhecimento acontece quando o indivíduo conhece a inovação e começa a entender como ela funciona. A persuasão é o momento em que o indivíduo forma uma atitude, positiva ou negativa, sobre a inovação. A decisão é o momento em que o indivíduo toma uma postura ativa em aceitar ou rejeitar a inovação. A implementação acontece quando o indivíduo coloca a inovação em uso e, na confirmação, o indivíduo procura reafirmar a decisão de inovação que tomou. Porém, nesse ponto, pode ocorrer a anulação da decisão tomada anteriormente, caso ele tenha contato com informações divergentes sobre a inovação.

Como Rogers (2003) não trata da difusão de um tipo específico de inovação, a Teoria da Difusão de Inovações foi adotada em vários campos científicos, como ciência política,

geografia, antropologia, marketing e saúde pública (Rogers, 2004). Rago e Zucchi (2017), por exemplo, discorreram sobre como as ideias da Teoria da Difusão de Inovações podem cooperar com a instituição de prontuários médicos eletrônicos. Dias (2020) também se apoiou nas ideias de Everett Rogers para entender quais são os determinantes da adoção do governo eletrônico em nível local. Min, So e Jeong (2021), por sua vez, utilizaram a Teoria da Difusão de Inovações para entender a adoção do aplicativo Uber pelos consumidores.

Embora a Teoria da Difusão de Inovações seja amplamente reconhecida e utilizada em diferentes áreas do conhecimento, críticos argumentam que há fatores além dos propostos por Rogers que explicam a adoção de tecnologias (Fu; Huang, 2024) e que esta teoria considera a inovação como um processo linear, e não cíclico (Pathak; Brown; Best, 2019). García-Avillés (2020), por sua vez, considerou a Teoria da Difusão de Inovações inadequada para analisar inovações de áreas mais tecnológicas, já que ela foi desenvolvida visando entender o setor agrícola.

Apesar das críticas, essa é uma das teorias mais utilizadas para explicar o comportamento de adoção de tecnologias na agricultura em países de renda média e baixa, que são países que possuem realidades semelhantes à do Brasil (Karbo et al., 2024). Além de ser utilizada em conjunto com outras teorias para explicar o processo de adoção e difusão de inovações, a Teoria da Difusão de Inovações serviu como base para a criação de modelos modernos de explicação de adoção de tecnologias, como o Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia, de Venkatesh et al. (2003). Não obstante, Rogers (2003) considera que não somente as características da inovação ou do adotante influenciam a adoção de inovações, mas, também, o contexto em que ele vive. Este é um fator que a diferencia das demais teorias que explicam a adoção de inovações, estando alinhado com as visões epistemológicas e ontológicas do pesquisador.

2.2.1.1 Atributos percebidos de inovação

Os atributos percebidos de inovação são fatores que explicam a taxa de adoção de uma inovação. De acordo com Rogers (2003), esses fatores explicam entre 49 e 87 por cento da variação da taxa de adoção de inovações em um sistema social. Os cinco atributos da percepção individual sobre as inovações são: vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, experimentação e observação. Rogers (2003) evidenciou também que, em contextos específicos, outros atributos podem ser importantes na avaliação individual dos adotantes de inovações.

2.2.1.1.1 Vantagem relativa

A vantagem relativa é “o grau em que uma inovação é percebida como sendo melhor do que a ideia que ela substitui. O grau de vantagem relativa é muitas vezes expresso como rentabilidade econômica, como transmissão de prestígio social ou de outras maneiras.” (Rogers, 2003, p. 259). Para Rogers (2003, p. 264), “a vantagem relativa de uma inovação, conforme percebida pelos membros de um sistema social, está positivamente relacionada à sua taxa de adoção”.

As características da inovação e as características do público-alvo da inovação indicam quais tipos e subtipos de vantagens relativa são mais interessantes para os adotantes (Rogers, 2003). As vantagens relativas são formas de diminuir a incerteza quanto à adoção ou não da inovação. Tipos de vantagens relativas englobam rentabilidade econômica, custo da adoção, diminuição de dor, status social, economia de tempo, economia de recursos e velocidade de alcance da recompensa.

Um dos tipos de vantagem relativa é a vantagem econômica. Quanto menor é o custo de aquisição, mais rápida é a adoção da inovação no sistema (Rogers, 2003). Este costuma ser um ponto importante de consideração para agricultores na hora de decidir adotar uma inovação, embora eles tenham disposição de investir mais recursos quando identificam uma oportunidade de aumentar a qualidade de sua produção ou aumentar seus lucros (Dan; Osterheider; Raupp, 2019).

Silk et al. (2014) exemplificam esse tipo de vantagem com a situação de adoção de moinhos de vento para promover a geração de eletricidade. Se houver a percepção de que a energia dos moinhos é mais cara do que a gerada pelos métodos atuais, é provável que não haja apoio para que a inovação seja adotada. Mas, se essa forma de geração de energia se mostrar mais eficiente do que as convencionais, a sua adoção tende a acontecer mais rápido entre os membros do sistema social, já que é possível observar uma vantagem na troca destes métodos de geração de eletricidade.

Outro tipo de vantagem relativa é a aquisição de status. A atitude de adoção de inovação pode ser estimulada em busca de status, diferenciação ou visibilidade (Rogers, 2003). O apelo para o status é maior para os pioneiros em adotar inovações em um sistema social. Em seu estudo sobre a adoção de tecnologias de Internet das Coisas no estado do Rio Grande do Sul – Brasil, Strong et al. (2022) evidenciaram que, para os fazendeiros da amostra da pesquisa, quanto maior o status social conferido pela tecnologia, maior era a vantagem era percebida pelos produtores na adoção das tecnologias.

Conforme discutido por Rogers (2003), toda inovação confere algum grau de status ao adotante. Quando uma inovação que não é recomendada por especialistas é adotada, ocorre o fenômeno da superadoção. A superadoção é um resultado da combinação de fatores que conferem status a uma inovação e acontece quando um subatributo da novidade se torna tão atrativo para o adotante que ele ignora todas as outras informações sobre a inovação. Alguns indivíduos têm uma tendência muito forte para inovações, tornando-os precipitadamente favoráveis a mudanças, incorporando inovações mesmo em situações não recomendadas.

A velocidade com que é possível enxergar as recompensas da adoção da inovação também influencia a taxa de adoção de inovações. Essa velocidade divide as inovações em dois tipos: as inovações preventivas e as inovações incrementais. Uma inovação preventiva é uma inovação que busca evitar acontecimentos desagradáveis. Já as inovações incrementais são as inovações que trazem benefícios para os adotantes rapidamente (Rogers, 2003).

É mais difícil convencer os adotantes a adotar inovações preventivas, pois seus benefícios acontecem em um futuro incerto e distante, o que faz com que não haja certeza de que a adoção da inovação realmente trará benefícios, que é bem diferente das inovações incrementais, que trazem benefícios no curto prazo, fato que aumenta a confiança na adoção das inovações. Porém, há bons exemplos de adoção ampla de inovações preventivas que utilizaram campanhas de comunicação para espalhar os benefícios dessas novidades aos públicos-alvo dos projetos. Como exemplo, o estudo de Jin et al. (2022) mostrou que campanhas de comunicação são eficazes para sensibilizar, diminuir a resistência e promover as tecnologias de agricultura regenerativa entre agricultores paquistaneses.

Além das campanhas de comunicação, incentivos também podem ser utilizados para acelerar a adoção de inovações dentro de um sistema (Rogers, 2003). Esses incentivos podem assumir diversas formas, combinadas ou não, dos fatores abaixo: incentivos para adotantes ou para difusores, a nível individual ou de grupo; reforço positivo ou reforço negativo; incentivos monetários ou não monetários, imediatos ou postergados. Os incentivos afetam a percepção das características da inovação, influenciando a taxa de adoção da inovação e fazendo com que a inovação seja adotada por indivíduos que não aqueles que, de alguma outra forma, utilizariam a inovação. Também, embora os incentivos possam aumentar a taxa de adoção de uma inovação, a qualidade dessa decisão pode ser afetada, diminuindo os impactos da inovação estabelecida. Mandados para adoção de inovações, estabelecidos por organizações sociais, como o governo e empresas, podem influenciar o comportamento individual dos seus membros, exercendo pressão para que o indivíduo consiga perceber os benefícios de adoção de uma inovação.

Um exemplo da influência de incentivos e mandados na adoção de inovações é o crescimento da agricultura orgânica no mundo. De acordo com Simin e Janković (2014), com a introdução de práticas como o prêmio por preços e concessão de subsídios, a ideia da agricultura orgânica atraiu a atenção de indivíduos que não se renderiam à ideia somente em razão de seus aspectos ideológicos. A mudança de leis também influencia o processo de adoção das práticas de agricultura orgânica. Após se posicionar em defesa da agricultura orgânica, os primeiros adotantes conseguiram criar apoio social e transformar leis, saindo da posição de desafiadores das autoridades e políticas vigentes para praticantes de atividades apoiadas pela legislação.

2.2.1.1.2 Compatibilidade

Outro dos atributos percebidos de inovação, estabelecido por Rogers (2003), é o atributo da compatibilidade, definido como:

“(...) o grau em que uma inovação é percebida como consistente com os valores existentes, experiências passadas e necessidades dos potenciais adotantes. Uma ideia mais compatível é menos incerta para o potencial adotante e se alinha mais estreitamente com a situação individual. Essa compatibilidade ajuda o indivíduo a atribuir significado à nova ideia, de modo que ela seja considerada mais familiar. Uma inovação pode ser compatível ou incompatível com (1) valores e crenças socioculturais, (2) ideias previamente introduzidas e/ou (3) necessidades do cliente para a inovação.” (Rogers, 2003, p. 272).

Quando a inovação se alinha a ideias estabelecidas anteriormente, a taxa de sua adoção também é influenciada, pois informações do passado são a base que os indivíduos utilizam para interpretar novas ideias (Rogers, 2003). Quanto mais compatível a inovação é com as informações que o indivíduo já possui, menores são as mudanças necessárias em seu comportamento e mais rápida se torna a adoção.

A importância das inovações se alinharem às ideias antigas é que inovações mais compatíveis com elas geram abertura para adotar inovações menos compatíveis no futuro, de forma gradual. Por isso, segundo Rogers (2003), os agentes de mudança deveriam começar seus esforços com inovações que têm alta vantagem percebida para os indivíduos, introduzindo, posteriormente, inovações conectadas a esta iniciativa inicial de sucesso, pois inovações costumam ser percebidas pelos adotantes como um conjunto de novas ideias interligadas.

Experiências negativas também afetam a maneira como as inovações são implementadas. O negativismo à inovação representa a medida em que a falha no envolvimento

com atividades inovadoras leva um indivíduo com potencial de adotar inovações a rejeitar novidades no futuro, passando a ver novas ideias com desconfiança (Rogers, 2003).

O fator de compatibilidade engloba, ainda, a medida em que a inovação atende às necessidades dos prováveis adotantes. Quando necessidades existentes no grupo são atendidas pelos componentes de uma inovação, sua taxa de adoção tende a ser mais alta. Porém, nem sempre os indivíduos estão cientes que precisam de uma inovação até que tenham contato com ela. Para aumentar as chances de que uma inovação seja adotada amplamente em um sistema, é necessário identificar as carências do grupo para introduzir inovações que estejam alinhadas a elas. Essa identificação pode ser feita através de conversas informais, comitês de clientes e aplicação de questionários (Rogers, 2003).

O posicionamento eficaz de uma inovação para um grupo acontece quando a inovação é apresentada de forma que pareça compatível com as ideias que formam os critérios de julgamento dos indivíduos do sistema social. A pesquisa de posicionamento é importante para identificar o público-alvo ideal para a inovação. Além da pesquisa de posicionamento, um tipo importante de pesquisa que deve ser feito no processo de apresentação de uma inovação a um grupo é a pesquisa de aceitabilidade. Esse tipo de pesquisa tem o objetivo de investigar quais são as características da inovação ideal para o sistema, a fim de orientar os esforços empregados nas atividades de pesquisa e desenvolvimento (Rogers, 2003).

Alguns estudiosos tentam entender como sistemas de informação nativos podem servir como uma forma de conectar as inovações às experiências passadas dos indivíduos. Os sistemas de informação nativos são representados por um conjunto de praticantes do sistema de conhecimento tradicional e muitas inovações falham justamente por ignorar a realidade dos seus possíveis adotantes. Para Sulaiman e Hall (2002), as melhores práticas de extensão agrícola são aquelas que consideram a aprendizagem coletiva importante para a entrega de roteiros extensionistas e abordagens dos indivíduos que sejam relevantes para a comunidade em que o trabalho será realizado. Além disso, eles também reconhecem que as inovações podem surgir de diversas fontes, inclusive dos próprios produtores rurais.

Para Rogers (2003, p. 280), então, “a compatibilidade de uma inovação, conforme percebida pelos membros de um sistema social, está positivamente relacionada à sua taxa de adoção”.

2.2.1.1.3 Complexidade, observação e experimentação

A complexidade é o “grau pelo qual uma inovação é percebida como relativamente difícil de entender e utilizar” (Rogers, 2003, p. 290). Para o autor, quanto mais complexa uma inovação parece ser para os adotantes do sistema, mais lenta é a sua taxa de adoção. Esse fator parece não ser tão importante quanto as vantagens relativas, mas o nível de complexidade de certas ideias pode configurar fatores impeditivos à sua adoção. Porém, dependendo da categoria do adotante, a complexidade pode ser um fator mais relevante. Nos estudos de Ploll et al. (2022), a complexidade foi um elemento relevante para grupos que não haviam adotado biotecnologias de solo, diferentemente do grupo de adotantes, que não considerou o fator tão importante. Esses resultados fazem sentido, uma vez que, a partir do momento em que se adota uma inovação, passa-se a conhecê-la melhor, diminuindo as incertezas sobre ela.

A experimentação diz respeito à medida em que uma inovação pode ser experimentada numa base limitada. O teste de uma inovação é uma forma do indivíduo atribuir sentido a esta novidade, descobrir como ela pode funcionar em sua realidade e diminuir sua incerteza quanto à novidade (Rogers, 2003). Para Kirungi et al. (2023), a experimentação é importante, pois reduz a chance de ocorrerem adversidades durante a utilização da inovação, possibilitando uma forma segura de explorar a novidade e diminuindo a insegurança do adotante. Em seu artigo, os autores identificaram que as tecnologias de agricultura inteligente para o clima que podem ser testadas no processo de adoção têm maior propensão a serem adotadas por cafeicultores em Uganda. Comumente, inovações que podem ser testadas são adotadas mais rapidamente que inovações que não conseguem proporcionar a experiência. Este parece ser um fator mais importante para adotantes rápidos, já que eles não têm referências quando adotam novidades, justamente por serem os primeiros (Rogers, 2003).

A observação diz respeito ao grau de visibilidade dos resultados de uma inovação (Rogers, 2003). Algumas ideias são mais fáceis de observar e transmitir do que outras, o que também pode impactar a taxa de adoção de inovações. A capacidade de observar os resultados de uma inovação está positivamente associada à sua taxa de adoção. A alta capacidade de observação diminui as incertezas sobre a inovação e aumenta o aprendizado entre pares nos grupos interessados, especialmente se o resultado dessa observação for considerado bem-sucedido (Lavoie; Dentzman; Wardropper, 2021). Como exemplo, Warner et al. (2021), ao estudar os elementos que suportam práticas de fertilização de quintal que impactam a qualidade da água, exemplificaram a observação sugerindo que, ao ver a melhoria na qualidade de água da vizinhança, as famílias seriam estimuladas a adotar e manter as novas práticas de adubação.

Rogers (2003), ao discorrer sobre os atributos percebidos de inovação, estabeleceu generalizações sobre efeitos dos cinco atributos no processo de adoção da inovação. Essas

generalizações sintetizam como cada um dos fatores mencionados afetam a taxa de adoção de inovações no sistema social e são mostradas no Quadro 2.2:

Quadro 2.2 - Generalizações de Rogers (2003) sobre os atributos percebidos de inovação.

Atributo percebido de inovação	Generalização
Vantagem relativa	“A vantagem relativa de uma inovação, conforme percebida pelos membros de um sistema social, está positivamente relacionada à sua taxa de adoção.” (p.264).
Compatibilidade	“A compatibilidade de uma inovação, conforme percebida pelos membros de um sistema social, está positivamente relacionada com a sua taxa de adoção” (p.280).
Complexidade	“A complexidade de uma inovação, conforme percebida pelos membros de um sistema social, está negativamente relacionada à sua taxa de adoção” (p. 90).
Experimentação	“A capacidade de experimentação de uma inovação, conforme percebida pelos membros de um sistema social, está positivamente relacionada à sua taxa de adoção” (p. 291).
Observação	“A capacidade de observar de uma inovação, conforme percebida pelos membros de um sistema social, está positivamente relacionada à sua taxa de adoção” (p. 291).

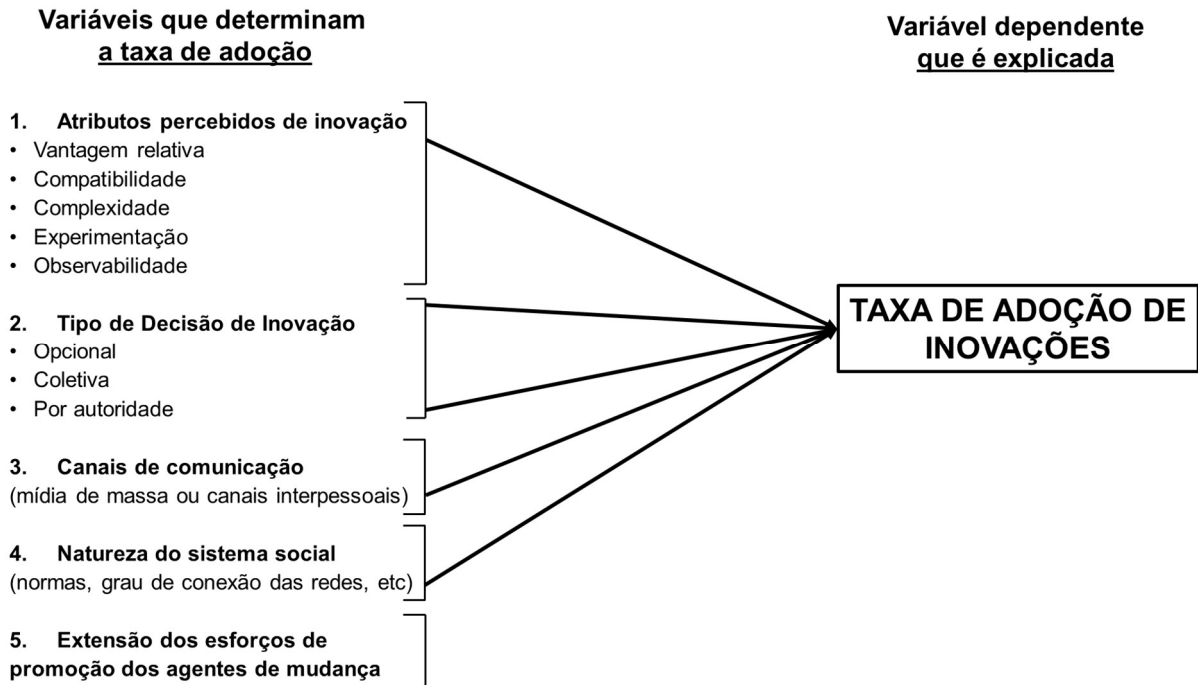
Fonte: adaptado de Rogers (2003).

2.2.1.1.4 Outras variáveis que determinam a taxa de adoção

Além dos atributos percebidos de inovação, o tipo de decisão, a natureza dos canais de comunicação que promovem a difusão de inovações, as características do sistema social e a amplitude do trabalho dos agentes de mudança para promover a adoção das inovações também impactam a taxa de adoção (Rogers, 2003). Comumente, inovações que são adotadas mediante decisão individual são adotadas mais rapidamente no sistema. Quanto mais indivíduos envolvidos no processo de decisão, mais lenta é a taxa de adoção. Quanto aos canais de comunicação, quando a consciência sobre a inovação é promovida por canais de comunicação interpessoal, em vez da mídia de massa, a taxa de adoção é mais lenta. A estrutura do sistema social e o nível de interconexão de sua rede de comunicações afetam a velocidade da taxa de adoção. Quanto ao esforço dos agentes de mudança, não é possível estabelecer uma ligação direta entre sua medida e a velocidade da taxa de adoção com precisão, mas seu impacto mais significativo acontece em certos estágios, como quando os formadores de opinião do sistema adotam a inovação. Para Daouda e Bryant (2016), por exemplo, as características do sistema social são consideradas tão vitais na adoção de práticas de adaptação às mudanças climáticas quanto a avaliação das características destas inovações.

A representação dos fatores que afetam a taxa de adoção de inovações em um sistema social pode ser vista na Figura 2.1:

Figura 2.1 - Variáveis que determinam a taxa de adoção de inovações para a Teoria da Difusão de Inovações

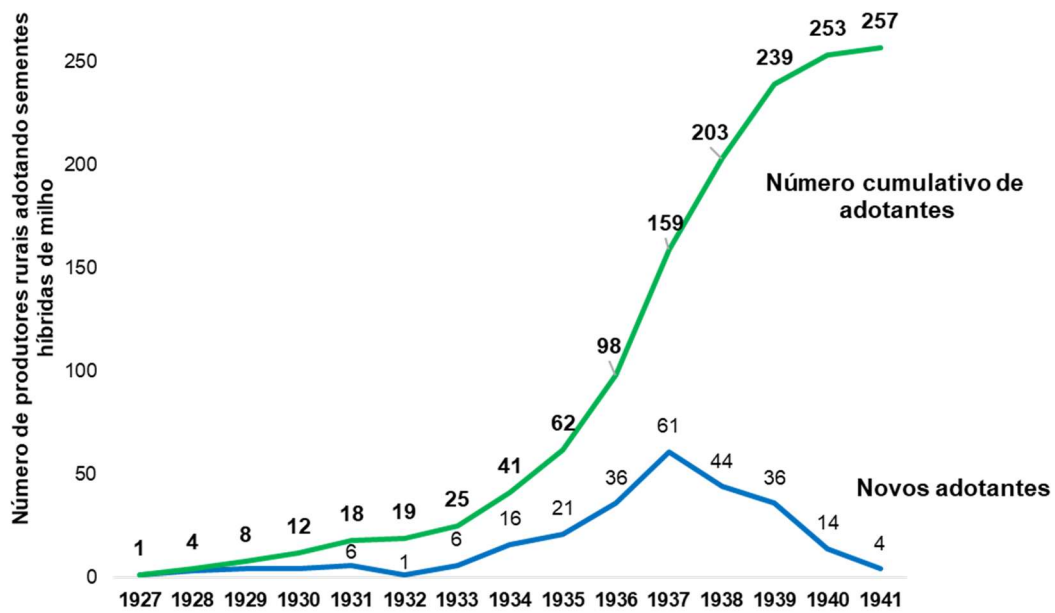


Fonte: Rogers (2003, p. 252).

2.2.1.2 Categorias de adotantes de inovações

Rogers (2003) propõe que a curva de adoção de inovações costuma seguir uma distribuição normal, em formato de sino, quando se representa como os adotantes se comportam ao longo do tempo. O número de adotantes agrupado resulta em uma curva em forma de S quando representado graficamente, como a representada pela Figura 2:

Figura 2.2 - Número de novos adotantes todos os anos e o número acumulado de adotantes de sementes híbridas de milho em duas comunidades de Iowa, EUA.



Fonte: Rogers (2003, p.304).

Espera-se que a distribuição dos adotantes de uma inovação ao longo do tempo seja normal em razão das pressões crescentes para que os indivíduos aceitem ou rejeitem uma inovação em um sistema. A pressão crescente é resultado do progresso de taxas de conhecimento e adoção ou rejeição de uma inovação no sistema. Essas taxas começam a acelerar a partir do momento em que as redes de conexões interpessoais no sistema se movimentam ativamente, espalhando as avaliações individuais e subjetivas sobre a inovação entre os seus membros (Rogers, 2003).

Rogers (2003) frisa que, embora tenha apresentado a curva em formato de S para representar a adoção de inovações dentro de um sistema social, variáveis como liberdade de discurso, características da população e natureza das ideias podem influenciar a velocidade de adoção de inovações e alterar o formato do gráfico sugerido.

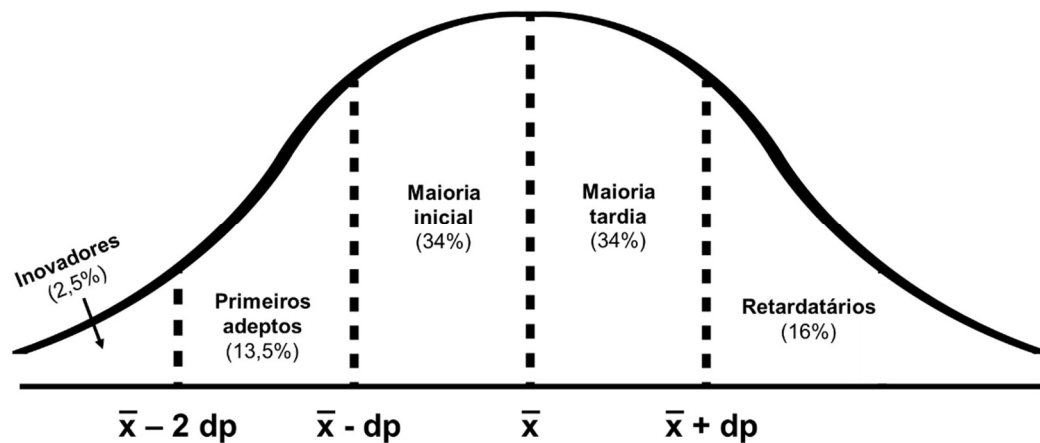
Como visto na Figura 2, nem todos os indivíduos adotam as inovações ao mesmo tempo, mas sim, em diferentes momentos (Rogers, 2003). Isso faz com que seja possível categorizá-los de acordo com o ponto no tempo em que eles decidem adotar as inovações. Cada uma das categorias de usuários tem características distintas em grau de inovatividade, que é a propensão de um indivíduo adotar inovações antes de outros membros que participam de um mesmo sistema social (García-Avilés, 2020).

Rogers (2003) propõe uma classificação dos tipos de adotantes com base no seu índice de inovatividade. Isso se deve às características inerentes aos membros dessas classificações,

que fazem com que alguns tenham uma tendência maior de adotar inovações do que os outros, de acordo com Pathak, Brown e Best (2019).

O símbolo \bar{x} representa a data média de adoção da inovação em um sistema social. Neste caso, a média e o desvio padrão da curva são utilizados para criar cinco categorias distintas de adotantes (Rogers, 2003): inovadores (2,5% dos adotantes, -2 desvios-padrão da data média de adoção), primeiros adeptos (13,5% dos adotantes, entre -2 e -1 desvios-padrão da data média de adoção), maioria inicial (34% dos adotantes, entre -1 desvio padrão e a data média de adoção), maioria tardia (34% dos adotantes, entre a data média de adoção e 1 desvio-padrão à direita da média) e retardatários (16% dos adotantes, localizados acima de 1 desvio-padrão à direita da data média de adoção). A Figura 2.3 mostra a representação gráfica das categorias de adotantes de Rogers (2003):

Figura 2.3 - Categorias de adotantes com base na inovatividade, de acordo com a Teoria da Difusão de Inovações.



Fonte: Rogers (2003, p. 315).

Os inovadores são audaciosos e cosmopolitas, comumente se juntando a outros inovadores, mesmo que à distância. Para ser um inovador, é necessário obter recursos financeiros consideráveis para absorver os insucessos de inovações malsucedidas, habilidade de entender e aplicar ideias complexas e capacidade de trabalhar sob alto grau de incerteza sobre a inovação quando ela é adotada. Inovadores buscam assumir riscos, ser ousados e experimentar coisas diferentes e são propensos a aceitar um revés em caso de falha na adoção de uma inovação. Eles têm um papel muito importante na comunidade: são eles quem trazem novas ideias para o seu grupo, muitas vezes tendo o papel de coordenar o fluxo de novas informações que entram no sistema (Rogers, 2003).

Os primeiros adeptos são mais integrados ao sistema, se comparados aos inovadores. São os maiores formadores de opinião dentre todos os outros grupos, pois são quem os grupos posteriores buscam para obter opiniões e informações. Por isso, são muito procurados para apoiar a disseminação de uma nova ideia no sistema. Além de serem respeitados, são eles quem personificam o sucesso do uso de inovações, demonstrando aprovação com a decisão de adoção da inovação (Rogers, 2003).

Os integrantes do grupo da maioria inicial adotam inovações antes da média do grupo. Eles têm um importante papel na difusão de informações no sistema, já que representam $\frac{1}{3}$ do total dos indivíduos do sistema e promovem a interconexão entre as redes da população. Costumam esperar antes de adotar inovações, consideravelmente mais tempo que inovadores, e são ativos no processo de adoção de inovações, mas raramente assumem a responsabilidade de liderar este processo (Rogers, 2003).

Os indivíduos que pertencem à categoria da maioria tardia adotam inovações apenas após a média do grupo. A adoção de novas ideias pode acontecer tanto por razões econômicas quanto por pressão dos pares. Leis do sistema podem pesar a favor da adoção de inovações por este grupo, já que eles não internalizam novas ideias até que a maioria das pessoas as adotem. Precisam sentir segurança neste processo, então é importante que grande parte da incerteza seja eliminada para que eles abracem novidades (Rogers, 2003).

Os retardatários, em um sistema social, são os últimos a adotar novas ideias. Costumam ser os mais “locais” e isolados em um grupo. Eles demonstram grande desconfiança acerca das inovações e daqueles que as promovem. Seu processo de adoção é lento, acontecendo bastante depois da conscientização das novas ideias. A origem dessa resistência reside nos recursos limitados à disposição destes indivíduos, os quais demandam uma garantia de que as inovações não resultarão em falhas (Rogers, 2003).

Segundo Rogers (2003), os grupos mais rápidos em adotar inovações têm mais anos de estudo, têm mais chance de serem alfabetizados, têm maior status e grau de mobilidade social e um conjunto de recursos maior do que os grupos que esperam para implementar novas ideias.

Adotantes mais rápidos demonstram habilidade em assumir a perspectiva de outros indivíduos, o que é útil para interagir efetivamente com membros de fora do seu sistema social. Os adotantes mais rápidos gostam de interagir com novas ideias e conseguem lidar com a abstração de forma eficaz, tanto que eles têm uma atitude muito mais positiva em relação à ciência e às mudanças em comparação aos adotantes mais tardios. Quanto mais rápidos em adotar inovações, menos fatalistas e mais ambiciosos os indivíduos tendem a ser (Rogers, 2003).

Aqueles que costumam adotar primeiro as inovações em um sistema social são mais ativos socialmente, têm mais conexões interpessoais no seu sistema social e são mais cosmopolitas do que os que esperam mais para abraçar novas ideias. Essa orientação social para a interação com membros externos à comunidade permite que os mais inovadores tragam novas informações para o grupo. Assim, adotantes rápidos de inovação são os maiores formadores de opinião sobre a inovação em um sistema, mas essa relação entre velocidade e autoridade depende das normas do contexto da população (Rogers, 2003).

Além disso, os primeiros adotantes costumam ter maior exposição à mídia de massa, canais de comunicação interpessoais e agentes de mudança. Eles também procuram informações de forma mais ativa em comparação aos adotantes tardios e têm maior conhecimento sobre inovação (Rogers, 2003).

Falando especificamente de produtores rurais, Diederer et al. (2003) identificaram que os produtores rurais mais propensos a adotar rapidamente as inovações são aqueles que comercializam sua produção em mercados heterogêneos, são mais jovens, operam em setores que apresentam mais oportunidades de adoção de novas tecnologias, investem tempo regularmente em atividades ligadas à inovação, desenvolvem inovações sozinhos ou em parceria com outros agricultores ou adaptam inovações desenvolvidas em outros lugares, e procuram a proteção da sua propriedade intelectual.

2.3 Tecnologias digitais na agricultura

Tecnologias digitais são tecnologias que são baseadas em números, uns e zeros. Esses números são lidos por dispositivos diversos, que podem ser genericamente chamados de computadores. Esses computadores transformam uns e zeros em linguagem que podemos entender, permitindo a reprodução de imagens, som, textos e outros formatos de conteúdo. São as tecnologias sucessoras das tecnologias analógicas, aquelas que necessitam de meios materiais para funcionar (Ribeiro, 2024).

A introdução de tecnologias digitais mudou de forma substancial como vivemos, trabalhamos e estudamos, realizamos nossas tarefas e como pensamos sobre elas (Scherer; Brito, 2020). Segundo Queiroz et al. (2022), para muitos setores industriais no século XXI, a ampliação da capacidade de processamento dos computadores trouxe inovadoras possibilidades de aprimorar a área produtiva, tornar as operações mais eficientes, se comunicar melhor e entender as demandas dos consumidores de forma mais assertiva. Hoje, o decréscimo do custo

das tecnologias digitais avançadas acelera o movimento de inovação mundial, chamado de Indústria 4.0 (Massruhá et al., 2020).

A agricultura esteve, por muito tempo, ligada à devastação de ecossistemas ambientais no mundo. A partir do século XX, com a Revolução Verde, os processos que, por um lado otimizaram a produção agropecuária, também agravaram problemas ambientais e socioeconômicos ao redor do globo. Então, como alternativa de trabalhar a terra, surgem as práticas de sustentabilidade agrícola, que busca garantir a segurança alimentar da sociedade ao mesmo tempo em que cuida dos recursos naturais (Vieites, 2010).

A agricultura digital se constitui como um importante corpo de tecnologias e ferramentas que podem ser utilizadas para produzir alimentos com menor impacto socioeconômico e ambiental e garantir a nutrição adequada da população mundial no presente e no futuro. Suas tecnologias, que envolvem nanotecnologia, aprendizado de máquina e inteligência artificial, por exemplo, ajudam a produzir mais alimentos, com maior qualidade e menor desperdício (Bolfé et al., 2020a).

A utilização destas tecnologias traz oportunidades para maximizar os avanços tecnológicos e científicos na agricultura. Massruhá et al. (2020) afirmam que a utilização de tecnologias digitais na agricultura pode aumentar a produção agrícola brasileira ao mesmo tempo em que mantém a sustentabilidade, podendo ser aplicadas desde as etapas de pré-produção até o consumo.

De acordo com Bolfé et al. (2020b, p. 653), a agricultura digital compreende "tecnologias de comunicação, informação e análise espacial que permitem aos produtores rurais planejar, monitorar e gerenciar as atividades operacionais e estratégicas do sistema produtivo". Para estes autores, a base tecnológica da Agricultura Digital, vem, comumente, das técnicas e conhecimentos da área de Agricultura de Precisão. Essas tecnologias permitem uma gestão otimizada da produção agrícola, aplicando os produtos e técnicas de forma adequada às necessidades da produção (Mulla, 2013). Uma descrição das tecnologias utilizadas na agricultura digital é apresentada no Quadro 2.3:

Quadro 2.3 - Tecnologias envolvidas na agricultura digital

Tecnologia Digital	Complexidade
Internet e conexão sem fio	Baixa
Aplicativos móveis, plataformas digitais e <i>software</i>	
Sistemas de posicionamento global (GPS)	
Mapas digitais	
Sensores de solo proximais	Média
Sensores remotos	

Tecnologia Digital	Complexidade
Eletrônica embarcada, telemetria e automação	
<i>Deep learning</i> e Internet das Coisas	Alta
Computação em nuvem, <i>Big Data</i> , <i>Blockchain</i> e criptografia	
Inteligência artificial	

Fonte: Bolfe et al. (2020b, p. 653).

A internet e a rede local sem fios (WLAN) são tecnologias que permitem conectar a produção e o maquinário do produtor rural, inclusive equipamentos móveis, como tratores e pulverizadores. Para que as tecnologias de agricultura de precisão funcionem adequadamente, é necessário que a conexão de internet sem fios esteja disponível em alta velocidade. Porém, a conexão pode ser afetada por conta das características de produção da fazenda, sobretudo das culturas plantadas. Portanto, para garantir que a conexão sem fio funcionará sem problemas, é necessário levar em conta o tipo de cultivo existente na propriedade no momento da implantação (McKinion et al., 2004).

Aplicativos móveis, *softwares* e plataformas digitais oferecem, com baixo custo, apoio para a tomada de decisões no campo, programas adaptados à realidade do trabalho nas fazendas, conexão e potencialização do funcionamento de outras tecnologias de agricultura de precisão e a possibilidade de reduzir a utilização de insumos e efeitos ambientais negativos das operações (Michels; Bonke; Musshoff, 2020).

O uso do sistema de posicionamento global (GPS) na agricultura permite coletar e analisar dados para tratar áreas específicas da propriedade rural, otimizar a aplicação de insumos e trabalhar em condições de visibilidade baixa, monitorar dados em tempo real, além de retirar a necessidade de sinalização humana nas atividades de pulverização. A utilização do GPS também possibilita criar os mapas digitais de forma precisa, fazendo com que a navegação entre pontos de interesse da propriedade seja feita de forma assertiva (Official US, 2021).

Sensores de solo proximais aprimoram os mapas das características de solo, criando representações mais precisas e mais ricas em detalhes (Vasques et al., 2020). De acordo com Kayad et al. (2020), estes sensores também ajudam a maximizar a aplicação de insumos, economizar energia e tempo, realizar diagnósticos nas culturas, prever de forma mais assertiva o rendimento e coletar e fornecer informações.

Os sensores remotos podem ser instalados em satélites, veículos aéreos ou em solo e são utilizados no acompanhamento do rendimento, nutrientes, estresse hídrico e massa orgânica das plantações, condições de solo, acompanhamento de pragas e aplicação de insumos (Mulla, 2013). Essas tecnologias permitem, por exemplo, avaliar de forma rápida e completa a estrutura de áreas de floresta e seu uso na agricultura melhora a qualidade e sustentabilidade geral da

produção e permite uma utilização mais eficiente dos recursos (Mulla, 2013; D'Oliveira et al., 2020). A Internet das Coisas, redes de objetos conectados que são passíveis de identificação, detecção e controle remotos, otimiza os processos de produção, a gestão da qualidade e a rastreabilidade e possibilita o controle remoto e avançado do trabalho no campo (Verdouw, 2019).

A computação em nuvem, que oferece acesso universal e sob demanda de rede a um grupo de recursos computacionais de forma rápida e fácil, é uma forma de obter dados e gerar o que se chama de *Big Data* (Wolfert et al., 2017; Hamdaqa; Tahvildari, 2012). Dá-se o nome de *Big Data* a grandes montantes de dados diversos utilizados para apoiar a tomada de decisões (Wolfert et al., 2017). Na agropecuária, *Big Data* pode ser utilizado para prever situações de produção e guiar decisões em tempo real, com base em informações provenientes desde sensores simples a algoritmos complexos.

Blockchain é uma tecnologia digital que promove a descentralização e a criptografia de informações, facilitando e eliminando intermediários nos processos de transação (Lin et al., 2017). Na agricultura, o *blockchain* constrói confiança entre os sistemas e garante transparência na gestão de dados, por meio de características como a criptografia complexa utilizada para proteger os dados. Embora tenha muitos benefícios para o meio agrícola, o *blockchain* ainda não é uma tecnologia amplamente adotada e espera-se que, a partir de 2025, essa tecnologia se popularize (Lin et al., 2017; Chen; Li; Li, 2020).

As tecnologias de eletrônica embarcada, telemetria e automação promovem uma abordagem diferente na agricultura de precisão, levando à implementação de sistemas de informação para prover dados relevantes de forma automática (Griffin; Lowenberg-Deboer, 2005; Suciú et al., 2019). As tecnologias de *deep learning* e IoT vêm também para recolher, disponibilizar e analisar dados agrícolas. Os algoritmos de *deep learning* têm a habilidade de aprender sem precisarem de programação prévia, o que faz com que os sistemas de gestão evoluam para sistemas de inteligência artificial que possibilitam *insights* e ideias mais complexas para a tomada de decisão (Liakos et al., 2018).

As aplicações com base em tecnologias de inteligência artificial, capazes de realizar análises que humanos não conseguiriam com base em estruturas de dados complexas, possibilitam a economia de tempo e energia dos produtores rurais, aumentar a produtividade e qualidade do solo e resolver problemas da cadeia de produção da agricultura. Como exemplos de tecnologias baseadas em IA, temos a pulverização inteligente e veículos autônomos (Kotte et al., 2024).

As tecnologias de agricultura digital são, na opinião de Bolfe et al. (2020a) e Assad e Pancetti (2009), necessárias e urgentes para todos os tipos de produtores rurais. As transformações causadas pela introdução das tecnologias digitais no campo transpassam áreas do conhecimento, regiões, tamanhos de propriedades e classes sociais, promovendo inovações ao longo de toda a cadeia produtiva agrícola. Para se adequar às mudanças dos mercados, os produtores precisam utilizar as novas tecnologias da informação e comunicação.

Porém, ainda são significativos os desafios para uma adoção ampla dessas tecnologias no campo no Brasil. O país enfrenta desafios como a falta de conectividade no campo, necessidade de investimentos considerável, falta de capacitação técnica dos produtores rurais, resistência às inovações no campo, processo de sucessão nas propriedades, dificuldade de coordenar ações envolvendo múltiplas instituições, escassez de mão-de-obra qualificada e questões relacionadas à segurança, propriedade e tratamento de dados (Bolfe et al., 2020a; Massruhá et al., 2020; Assad; Pancetti, 2009). Para Bolfe e Massruhá (2020), a superação desses desafios para tornar as tecnologias digitais mais acessíveis passa por investimentos públicos e privados na área.

Na esfera pública, de acordo com Massruhá et al. (2020), temos como exemplo de promoção da adoção de tecnologias digitais no campo o Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT), que teve como impactos a criação da Câmara do Agro 4.0, para debater soluções para fazendas altamente conectadas; o edital de financiamento de projetos pilotos focados em desenvolvimento de soluções baseadas em IoT chamado de Edital BNDES Pilotos IoT; e a criação de Centros de Pesquisa Aplicada em Inteligência Artificial. Recentemente, houve também o lançamento do Centro de Ciência para o Desenvolvimento em Agricultura Digital, parceria firmada entre a Embrapa e institutos de ensino e pesquisa para a criação de 10 Distritos Agro Tecnológicos (DATs) no Brasil (Cruciol, 2023). O objetivo do projeto é promover soluções para a conexão em áreas rurais e introduzir tecnologias digitais diversas nestes distritos, promovendo fazendas inteligentes piloto e entendendo como as tecnologias digitais podem ser utilizadas em diferentes contextos agropecuários.

Para pequenos produtores rurais, programas de inclusão digitais são essenciais. Assim, comunidades originalmente excluídas do progresso tecnológico podem aproveitar os seus benefícios e se manter competitivos no mercado (Assad; Pancetti, 2009). Um exemplo abordado por estes autores é um projeto do estado de Santa Catarina, denominado Projeto Beija-Flor, que, por meio de telecentros posicionados em diferentes partes do estado, leva conhecimento de informática essencial a populações excluídas digitalmente. Os benefícios da aplicação do programa, levantados pela gestão do projeto, foram o contato com sistemas informatizados,

informações gerais sobre a produção, mudanças na comunicação, e o aumento da rede de contatos dos participantes.

Apesar dos desafios, as perspectivas para o futuro da agricultura digital no Brasil são promissoras. As tendências mostram que a agricultura brasileira se tornará mais intensiva em tecnologias da informação utilizadas para gerenciar dados e informações, tecnologias de monitoramento de produção, algoritmos e aplicativos, tecnologias baseadas em *blockchain* e criptografia e segurança, e privacidade de dados (Bolfé et al., 2020b; Masshurá et al., 2020; Masshurá; Leite, 2016).

3. METODOLOGIA

Para cumprir o primeiro objetivo específico, foi conduzida uma revisão bibliométrica de literatura. A bibliometria desempenha um papel fundamental ao oferecer uma compreensão abrangente do estado atual de uma área de conhecimento, bem como sua dinâmica e perspectivas futuras em termos de publicações (Chain et al., 2019). A bibliometria utiliza métodos quantitativos para analisar atividades e publicações científicas, gerando indicadores que avaliam a produção e a performance científica de autores, países e campos do conhecimento (Silva; Hayashi; Hayashi, 2011).

Este tipo de método de pesquisa possibilita organizar a literatura, produzindo informações sobre as propensões das pesquisas futuras e um corpo final de documentos chamado de frente de pesquisa, além de um conjunto de referências bibliográficas que suportam a frente de pesquisa, que é chamado de base intelectual (Chain et al., 2019).

Este trabalho utilizou a estrutura adaptada de Do Prado et al. (2016), que estabelece um *framework* para a realização de uma pesquisa bibliométrica. A utilização de tal método se justifica pela necessidade de conferir rigor científico e lisura ao processo de elaboração deste trabalho.

O Quadro 3.1 demonstra o *framework* utilizado para desenvolver o trabalho:

Quadro 3.1 - Framework de pesquisa utilizado.

Estágio	Procedimento	Descrição
1. Operacionalização da pesquisa	1.1	Escolha da(s) base(s) científica(s) ou periódico(s)
	1.2	Delimitação dos termos que representam o campo
	1.3	Delimitação de outros termos para cálculo dos resultados
2. Procedimentos de busca (filtros)	2.1	<i>Título</i> (termo do campo) E
	2.2	Filtro 1: Apenas delimitações de artigos
	2.3	Filtro 2: Todos os anos
	2.4	Filtro 3: Exclusão de artigos da área da Saúde, Engenharia, Matemática e Química
	2.5	Filtro 4: Todos os idiomas
3. Processos de seleção (banco de dados)	3.1	<i>Download</i> de referências em formato de planilha eletrônica
	3.2	<i>Download</i> de referências para uso no <i>Bibliometrix</i>
	3.3	Análise matricial na organização de planilhas

Estágio	Procedimento	Descrição
	3.4	Importação de dados para <i>software</i> de análise
4. Adequação e organização dos dados	4.1	Eliminação de artigos duplicados da base de dados
	4.2	Eliminação de artigos por meio de leitura breve
	4.3	Eliminação por análise de polissemia de termos
	4.4	Pesquisa de artigos completos em formato .pdf
5. Análise da frente de pesquisa	5.1	Análise de tendências temporais e volume de publicações
	5.2	Análise dos artigos mais citados da amostra
	5.3	Análise dos autores mais citados da amostra
	5.4	Análise dos artigos mais citados pelos trabalhos da amostra
	5.5	Análise dos periódicos mais citados da amostra
	5.6	Análise dos países de origem dos trabalhos da amostra
	5.7	Análise do mapa temático da amostra
6. Análise da base intelectual	6.1	Análise da rede de cocitações dos artigos mais citados
	6.2	Análise da rede de cocitações dos autores mais citados
7. Agenda de estudos futuros	7.1	Apresentação dos principais tópicos para estudos futuros

Fonte: adaptado de Do Prado et al. (2016).

A base indexadora escolhida para análise foi a Scopus, base importante para as Ciências Sociais Aplicadas (Mesquita et al., 2021). Além de oferecer informações em quantidade e qualidade necessárias para realizar uma revisão sistemática consistente, a base Scopus conseguiu retornar artigos importantes para a temática, inclusive as bases teóricas mais relevantes que explicam a adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura. Na busca, foram considerados artigos completos ou artigos de revisão publicados até o dia 22/02/2024. O termos utilizados na pesquisa estão descritos no Quadro 3.2:

Quadro 3.2 - String de busca utilizada na base indexadora Scopus.

Base indexadora	String de busca utilizada
Scopus	(TITLE-ABS-KEY (techno*) AND TITLE (adopt* OR diffusion) AND TITLE (agri* OR agro* OR farm*) AND ALL (digital* OR electronic)) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "NURS") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "PHAR") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "HEAL") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "CHEM") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "IMMU") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "VETE") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "MEDI") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "PHYS") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "CENG") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "MATE") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "EART") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "BIOC")) AND (EXCLUDE (

Base indexadora	<i>String de busca utilizada</i>
	DOCTYPE , "cp") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "ch") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "er") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "dp"))

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Para atingir o segundo objetivo específico e o terceiro objetivo específico, o trabalho empírico foi conduzido seguindo uma epistemologia construtivista, ontologia intersubjetiva e adotando um paradigma interpretativista. A ontologia intersubjetiva afirma que a realidade é percebida e criada coletivamente. A epistemologia construtivista defende que o significado do mundo surge da interação dos processos mentais individuais e coletivos. O paradigma interpretativista considera a realidade como o resultado do encontro dos mundos subjetivo e objetivo, destacando os aspectos sociais e políticos dos significados atribuídos à realidade. Nesse paradigma, a realidade é reproduzida por meio das interações sociais e o pesquisador capta suas descobertas a partir das percepções das pessoas pesquisadas (Saccol, 2009).

A pesquisa contou com um recorte temporal transversal, adequado ao estudo por possibilitar a compreensão do contexto neste determinado momento de realização da pesquisa (Richardson, 1999).

A pesquisa aqui descrita é qualitativa, buscando delinear os atributos percebidos de inovação de forma interpretativa (Sampieri; Collado; Lucio, 2013). A pesquisa qualitativa tem o objetivo de retratar a realidade como uma construção e atribuição social de significações e enfatiza os aspectos dos processos e reflexão (Gunther, 2006). Esta pesquisa adota uma é classificada como um estudo qualitativo básico, conforme a perspectiva de Merriam e Tisdell (2015). Esse tipo de delineamento é apropriado quando o objetivo é compreender como as pessoas interpretam suas experiências, constroem significados e organizam sua compreensão do mundo a partir de vivências concretas. Em relação à classificação da pesquisa quanto aos seus objetivos, realizou-se uma pesquisa de caráter exploratório.

O objeto de estudo desta pesquisa é a adoção de tecnologias digitais por agricultores de perfil inovador. Especificamente, este estudo examina os atributos percebidos de inovação que afetam a taxa de adoção de tecnologias digitais por produtores rurais considerados inovadores, seguindo a classificação de Rogers (2003). O estudo foi submetido à apreciação ética e obteve parecer favorável do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFLA, conforme o número do parecer 7.107.972, emitido sob o CAAE 82822624.8.0000.5148. O protocolo de pesquisa foi considerado aprovado para a realização das entrevistas com os produtores rurais.

O trabalho foi conduzido em uma cooperativa que trabalha sob o sistema de comércio justo no sul de Minas Gerais, a Cooperativa Mista Agropecuária de Paraguaçu (COOMAP). A COOMAP foi fundada em 2 de maio de 1957, na cidade de Paraguaçu, localizada no sul de Minas Gerais. Em 2015, a cooperativa obteve a certificação Fair Trade, visando otimizar a comercialização e a qualidade de vida dos cooperados. Hoje, conta com 670 agricultores familiares que, em média, comercializam 160.000 sacas de 60 kg de café anualmente (COOMAP, 2025).

Esta cooperativa foi selecionada por estar localizada na região do sul de Minas Gerais e ter relação próxima com a Universidade Federal de Lavras, pois as instituições contam com um histórico de projetos desenvolvidos em conjunto em razão do movimento do Comércio Justo. Também, a cooperativa é participante do projeto “O Produtor do Futuro: perfil tecnológico e construção de indicadores de adoção de tecnologias digitais para pequenos e médios produtores”, iniciado em 2022 e do qual essa dissertação faz parte. Também, a cooperativa constitui um sistema social bem delimitado, com a presença de estrutura normativa, agentes de mudanças e redes de relacionamentos entre indivíduos, essenciais para uma análise feita sob a ótica da Teoria da Difusão de Inovações.

Os sujeitos de estudo desta pesquisa são os cafeicultores identificados como inovadores na COOMAP. Os inovadores são os responsáveis por introduzir, testar e validar ou rejeitar novas ideias no sistema social em que estão inseridos (Rogers, 2003). O interesse nesse tipo de adotantes se justifica porque conhecer especificamente os atributos percebidos de inovação destes indivíduos permite obter informações para tornar o processo de decisão sobre inovações dentro de um sistema social mais assertivo, fazendo com que novas ideias cheguem ao maior número de pessoas em um grupo de forma mais rápida e eficaz.

Os cooperados identificados como inovadores foram selecionados com base em informações cedidas pelo corpo administrativo e técnico da COOMAP, considerando as características buscadas nos entrevistados, evidenciadas no Quadro 3.1. Essa forma de amostragem, denominada “bola de neve” (Biernacki; Waldorf, 1981), apoia-se nas indicações de pessoas que fazem parte ou conhecem indivíduos com as características do grupo de pessoas que contém características procuradas para a realização da pesquisa. Também, essa forma de amostragem é adequada quando as características que os indivíduos da população estudada têm em comum não são fáceis de detectar ou raramente estão listados em alguma forma de registro (Baltar; Brunet, 2012).

Como estes agentes conhecem e assessoram toda a rede de cafeicultores ligados à cooperativa, podem indicar cooperados com os perfis desejados para realizar as entrevistas. O

método de indicação de produtores rurais por agentes de mudança foi semelhante ao utilizado por Diederer et al. (2003), que utilizaram indicações de agrônomos, revistas especializadas, especialistas da área e listas de contatos governamentais para reunir produtores rurais caracterizados como inovadores para realizar sua pesquisa sobre a adoção de inovações na agricultura.

Quadro 3.3 - Características dos fazendeiros inovadores, de acordo com Rogers (2003) e Diederer et al. (2003).

Características dos fazendeiros inovadores, de acordo com Rogers (2003) e Diederer et al. (2003).
São audaciosos.
Têm recursos financeiros consideráveis.
Entendem e aplicam ideias complexas.
Assumem riscos.
São tolerantes à incerteza e falhas.
Mantém conexão com outros inovadores, inclusive de outros sistemas sociais.
Têm mais anos de estudo.
Têm mais chance de serem alfabetizados.
Têm maior status social.
Têm maior grau de mobilidade social.
Têm mais recursos para testar novas ideias.
São empáticos.
Gostam de interagir com ideias novas.
Têm atitude favorável à ciência e a mudanças.
São menos fatalistas.
São mais socialmente ativos e têm orientação social para fora do seu grupo.
São mais expostos à mídia de massa, canais de comunicação e agentes de mudança.
Procuram informações de forma ativa e possuem mais conhecimento sobre inovação.
Vendem produtos em mercados heterogêneos.
São mais jovens.
Operam em setores que apresentam mais oportunidades de adoção de novas tecnologias.
Investem tempo regularmente em atividades ligadas à inovação.
Desenvolvem inovações sozinhos ou em parceria com outros agricultores ou adaptam inovações desenvolvidas em outros lugares.

Procuram proteção da sua propriedade intelectual.

Fonte: adaptado de Rogers (2003) e Diederer et al. (2003).

Este estudo utilizou a entrevista como forma de coletar os dados para responder satisfatoriamente ao problema de pesquisa. Entrevistas são úteis pois fornecem informações sobre as percepções dos atores envolvidos sobre tecnologias digitais na agricultura. Ao todo, 22 cafeicultores foram identificados como inovadores pelos membros do corpo técnico da cooperativa. Destes selecionados, 14 produtores aceitaram participar da pesquisa. Estes 14 cafeicultores foram entrevistados pela equipe do AGRITECH UFLA (Centro de Estudos em Mercado e Tecnologias no Agronegócio da Universidade Federal de Lavras) entre os dias 30 e 31 de janeiro de 2025, na sede administrativa da COOMAP, em Paraguaçu, Minas Gerais, de forma online e presencial. Abaixo, no Quadro 3.4, apresenta-se a relação dos entrevistados, juntamente com a duração de cada entrevista. As questões norteadoras das entrevistas podem ser encontradas no Anexo A, juntamente com a duração de cada entrevista.

Quadro 3.4 - Descrição dos entrevistados.

Entrevistado	Local de realização da entrevista	Duração da entrevista
01	COOMAP	00:32:16
02	COOMAP	00:39:08
03	COOMAP	00:39:56
04	COOMAP	00:33:48
05	COOMAP	00:18:28
06	COOMAP	00:36:16
07	COOMAP	00:23:57
08	COOMAP	01:33:39
09	COOMAP	00:21:07
10	COOMAP	00:47:46
11	COOMAP	00:24:28
12	COOMAP	00:16:59
13	COOMAP	00:30:08
14	Google Meet	00:33:43

Entrevistado	Local de realização da entrevista	Duração da entrevista
Tempo médio de duração das entrevistas		00:35:20
Tempo total de duração das entrevistas		07:39:23

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

As entrevistas gravadas foram transcritas de forma fiel ao conteúdo expressado pelos indivíduos participantes por meio do *software* Microsoft Word e as transcrições foram revisadas pelo pesquisador, para garantir a fidelidade do texto ao material gravado. Os trechos de entrevistas expostos na seção de análise foram transcritos literalmente das falas dos entrevistados.

Os dados coletados nas entrevistas foram analisados utilizando a análise de conteúdo (Minayo, 2000). Foi utilizada a abordagem semântica para realizar a análise, focando na presença dos atributos percebidos de inovação nas falas dos entrevistados e não na frequência dessas citações (Bastos et al., 2019). A análise foi operacionalizada de acordo com o roteiro sugerido por Cavalcante, Calixto e Pinheiro (2014): pré-análise, exploração do conteúdo e interpretação dos dados.

Os dados coletados nas entrevistas foram codificados utilizando a análise de conteúdo de grade mista proposta por Vergara (2005). As categorias de análise pré-definidas foram baseadas no trabalho de Rogers (2003). Estas categorias possibilitaram identificar como os atributos percebidos de inovação que afetam a decisão de adoção de inovações baseadas em tecnologias digitais dos produtores rurais entrevistados. Porém, como o próprio Rogers (2003) explicita, atributos percebidos de inovação que fogem às suas proposições podem aparecer durante a realização do estudo. Por isso, propõe-se utilizar a grade mista, que admite também a inclusão de categorias detectadas na realização do estudo (Bastos et al., 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta e discute os resultados do estudo em três diferentes seções. Primeiro, é apresentada uma revisão bibliométrica que situa a adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura no debate acadêmico. Depois, há uma seção de descrição do perfil dos entrevistados. Por fim, é apresentada a análise dos atributos percebidos de inovação dos produtores rurais inovadores sobre tecnologias digitais (Rogers, 2003).

4.1 Adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura: uma revisão bibliométrica

A revisão bibliométrica sobre a adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura emerge como um esforço essencial para mapear e analisar o panorama atual de pesquisa nesta interseção entre agricultura e tecnologias digitais. Esta revisão examina não apenas as tendências quantitativas de publicações, mas também identifica os principais temas, autores influentes e perspectivas de pesquisa, fornecendo uma visão abrangente do estado atual e direções futuras neste campo.

Através da utilização de termos de busca relacionados ao tema da adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na base indexadora Scopus, obteve-se o número total de 421 trabalhos. Após leitura dos títulos e resumos dos artigos da amostra, foram selecionados 289 trabalhos publicados em 174 periódicos diferentes, brasileiros e estrangeiros. Foram excluídos nesta etapa os artigos que não tratavam do processo de adoção ou difusão de tecnologias digitais ou que tratavam apenas do impacto das tecnologias digitais no campo após a sua adoção. Destes trabalhos, 270 são caracterizados como artigos e 19 são caracterizados pela Scopus como artigos de revisão. Estes estudos foram publicados ao longo de 32 anos, entre 1992 e 2024.

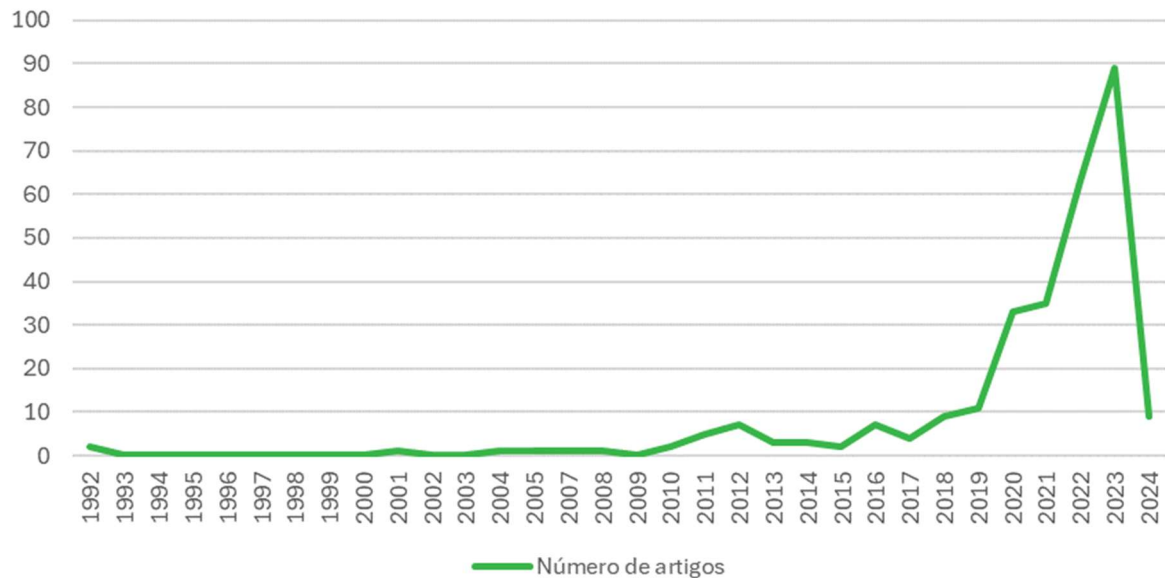
Em relação aos autores, 979 pesquisadores escreveram trabalhos e 11 artigos foram escritos por apenas um autor. A colaboração entre diferentes autores é destacada por uma média de 3,79 coautores por trabalho. Existe uma tendência global na investigação realizada, o que se confirma pelo fato de 31,83% dos trabalhos resultarem de colaborações internacionais.

Em termos de número de menções, cada texto recebeu em média 21 citações, indicando o impacto dos artigos nas pesquisas científicas da área. A idade média dos textos é de 3,67 anos, sugerindo que a produção de grande parte dos trabalhos está sendo publicada nos últimos anos. Quanto ao conteúdo dos artigos, os autores utilizaram 933 palavras-chave e a base de dados contém um total de 17.151 referências.

Para analisar os dados foi utilizado o *software* Microsoft Excel® e para criar as redes foi usado o pacote *Bibliometrix*, dentro do *software* R (Aria; Cuccurullo, 2017).

A Figura 2.4 representa as publicações feitas sobre a temática de adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura ao longo dos anos. O primeiro artigo publicado sobre o tema foi o trabalho “*Inequalities in the Information Age: Farmers' Differential Adoption and Use of Four Information Technologies*”, de Abbott e Yarbrough (1992). Os autores exploraram questões éticas relacionadas aos efeitos da adoção de tecnologias de comunicação, como o microcomputador e gravadores de videocassete, em desigualdades entre fazendeiros de 1982 a 1989. Segundo Abbott e Yarbrough (1992), produtores com fazendas maiores e que possuem capacidades mais robustas para trabalhar com informações têm maior tendência a adotar este tipo de tecnologia. Eles também afirmam que aqueles produtores que ainda não adotaram tecnologias de comunicação semelhantes às estudadas no trabalho, mas que procuram mais informações, têm conhecimento geral mais amplo e são orientados para a gestão, tendem a utilizar melhor essas inovações quando as adotam.

Figura 4.1 - Evolução do volume anual de publicações da amostra de artigos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura coletada na base Scopus.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

É possível observar no gráfico que, entre os anos de 1992 e 2009, poucos trabalhos sobre a temática foram publicados. A partir dos anos 2010, há um ligeiro aumento do volume e constância de publicações na área. A partir de 2020, a produção de artigos tem um aumento exponencial, provavelmente em razão dos efeitos da pandemia de Covid-19. A pandemia aumentou a probabilidade de adoção de vários tipos de serviços e tecnologias digitais na

produção agrícola em decorrência do isolamento imposto para diminuir a circulação do vírus (Akudugu et al., 2023). Portanto, com o aumento da adoção de tecnologias digitais no período, faz sentido que a taxa de publicação de novos estudos sobre esse comportamento também tenha crescido neste momento.

Em 2024, a produção da amostra ainda é pequena, mas deve-se considerar que a coleta dos dados foi realizada no mês de fevereiro e que a produção, seguindo a tendência dos anos anteriores, deve aumentar ao longo dos meses do ano.

O Quadro 4.1 apresenta quais foram os artigos mais citados da base indexadora utilizada nesta pesquisa. Foram selecionados os 10 artigos mais populares da amostra coletada na Scopus:

Quadro 4.1 - Ranking de trabalhos mais citados sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura da amostra coletada na base Scopus por número de citações.

#	Título	Autores	Periódicos (ISSN)	Citações
1	IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology	Aubert, Schroeder e Grimaudo (2012)	Decision Support Systems (1873-5797)	325
2	Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable agri-food supply chains	Saurabh e Dey (2021)	Journal of Cleaner Production (1879-1786)	234
3	Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers	Barnes et al. (2019)	Land Use Policy (1873-5754)	220
4	Blockchain technology adoption barriers in the Indian agricultural supply chain: an integrated approach	Yadav et al. (2020)	Resources, Conservation and Recycling (1879-0658)	201
5	To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP	Kumar et al. (2021)	Journal of Cleaner Production (1879-1786)	190
6	Adoption of organic farming: Are there differences between early and late adoption?	Läpple e Rensburg (2011)	Ecological Economics (1873-6106)	181
7	Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion	Lybbert e Sumner (2012)	Food Policy (1873-5657)	164
8	Setting the record straight on precision agriculture adoption	Lowenberg-Deboer e Erickson (2019)	Agronomy Journal (1435-0645)	164
9	Farm diversification, entrepreneurship and technology adoption: Analysis of upland farmers in Wales	Morris, Henley e Dowell (2017)	Journal of Rural Studies (1873-1392)	159
10	Socio-economic Factors Affecting Adoption of Modern Information and Communication Technology by Farmers in India: Analysis Using Multivariate Probit Model	Mittal e Mehar (2016)	Journal of Agricultural Education and Extension (1750-8622)	150

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O artigo mais citado da amostra é “*IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology*”, de Aubert, Schroeder e Grimaudo (2012), com 325 citações na Scopus. Os autores estudaram dados de pesquisas realizadas no Canadá para elaborar um modelo que explica os desafios na adoção das tecnologias de agricultura de precisão. Para estes autores, a adoção da agricultura de precisão é determinada pela facilidade de uso e percepção de utilidade dessas tecnologias, que são percepções individuais e que variam de agricultor para agricultor. Outros fatores que influenciam a decisão de adoção são a disponibilidade de recursos, a experimentação, a voluntariedade e fatores pessoais dos agricultores, como o nível educacional. No modelo do estudo, idade do produtor rural e tamanho da propriedade não foram identificados como aspectos relevantes para a decisão de adoção de tecnologias de agricultura de precisão.

O segundo artigo mais citado da amostra é “*Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable agri-food supply chains*”, de Saurabh e Dey (2021), que conta com 234 citações. No estudo, os autores buscam entender quais questões determinam a adoção de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) conectadas em *blockchain* em cadeias de abastecimento agroalimentares, utilizando como objeto de estudos a cadeia de abastecimento de vinho e uva. Os resultados indicaram que os fatores que mais influenciam a tomada de decisão de adoção de TIC dos atores envolvidos nestes sistemas são a desintermediação, a rastreabilidade e o preço.

O terceiro artigo mais citado da base é “*Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers*”, de Barnes et al. (2019), que conta com 220 citações na Scopus. Os autores do trabalho pesquisaram a adoção especificamente de tecnologias de orientação de máquinas e de taxas variáveis de nitrogênio utilizando dados de 971 fazendeiros em cinco países europeus. Os resultados indicam que fazendeiros com atitudes mais otimistas em relação ao retorno econômico das tecnologias são mais propensos a adotá-las. Além deste fator, o comportamento inovador e a procura por informações possuem impacto positivo sobre a decisão de substituir tecnologias de orientação de máquinas por tecnologias de taxas variáveis de nitrogênio.

O trabalho “*Blockchain technology adoption barriers in the Indian agricultural supply chain: an integrated approach*”, de Yadav et al. (2020), que tem 201 citações, fala sobre as principais barreiras para a adoção de *blockchain* na cadeia de abastecimento agrícola indiana, por meio de uma pesquisa bibliográfica e entrevistas com especialistas. Os autores descobriram que a ausência de regras impostas pelo governo e desconfiança entre os atores envolvidos no

contexto agrícola são barreiras significativas para a adoção de tecnologias baseadas em *blockchain* nesse contexto.

O artigo “*To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP*”, de Kumar et al. (2021), tinha 190 citações na data de coleta da amostra. Os autores do estudo identificaram barreiras à adoção da Indústria 4.0 e economia circular na cadeia de abastecimento agrícola da Índia. Kumar et al. (2021) identificaram como barreiras a falta de apoio governamental, políticas e protocolos, sensibilização, competência, motivação, práticas sustentáveis e aceitação.

O trabalho “*Adoption of organic farming: Are there differences between early and late adoption?*”, de Läßle e Rensburg (2011), tinha 181 citações na data da amostra. Para os autores, os adotantes mais rápidos diferem dos adotantes tardios de inovações em relação a questões econômicas e não-econômicas. Os resultados mostram diferença real entre a relação dos diferentes tipos de adotantes e os fatores que influenciam a adoção, especialmente acerca de idade, intensidade agrícola, atitudes do agricultor e obtenção de informações.

O artigo intitulado “*Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion*”, de Lybbert e Sumner (2012), que contava com 164 citações, discute como políticas podem influenciar a adoção de tecnologias agrícolas para lidar com os efeitos das mudanças climáticas. Os autores reconhecem que as restrições comumente acontecem na fase de adoção, pois há vários fatores que impedem os agricultores destas localidades de acessar e utilizar as tecnologias que necessitam. Com base nesta temática, Lybbert e Sumner (2012) propuseram prioridades políticas e necessidades de investimentos para facilitar o acesso de países do grupo estudado a tecnologias agrícolas.

O trabalho “*Setting the record straight on precision agriculture adoption*”, de Lowenberg-Deboer e Erickson (2019), tinha 164 citações. Os autores exploram, neste estudo, a adoção de tecnologias de agricultura de precisão em todo o mundo a partir de dados públicos e pesquisas. Os pesquisadores descobriram que a percepção de que o processo de adoção de tecnologias de agricultura de precisão é lento acontece porque essas tecnologias são comumente associadas às tecnologias de taxa variável, que têm o apreço dos agricultores, mas não a sua confiança. Lowenberg-Deboer e Erickson (2019) ainda afirmaram que a maior lacuna da adoção de tecnologias de agricultura de precisão acontece em pequenas e médias propriedades não mecanizadas de países em desenvolvimento, pois poucas tecnologias do tipo foram projetadas para uso nesses contextos, o que acaba não atendendo às necessidades destes produtores.

O estudo “*Farm diversification, entrepreneurship and technology adoption: Analysis of upland farmers in Wales*”, de Morris, Henley e Dowell (2017), tinha 159 citações na base Scopus. Os autores estudaram como o contexto influencia, entre outras esferas, a adoção de tecnologias na produção rural da região montanhosa do País de Gales. Os pesquisadores concluíram que a presença de banda larga e tecnologias da informação e comunicação facilitou a adoção de tecnologias, mas elas necessitam de infraestrutura e do desenvolvimento de habilidades de uso.

O artigo “*Socio-economic Factors Affecting Adoption of Modern Information and Communication Technology by Farmers in India: Analysis Using Multivariate Probit Model*”, de Mittal e Mehar (2016), é o 10º artigo no *ranking* de citações da Scopus, com 150 citações. Os autores buscaram entender os fatores que afetam a chance de adoção de diversas tecnologias de comunicação por produtores rurais dos estados Indo-Gangéticos da Índia. Fatores como idade, nível de educação e tamanho da fazenda estão ligados de forma significativa ao uso de múltiplas fontes de informação agrícola.

Os autores que mais publicaram artigos na amostra foram Marcelo Carrer, pesquisador da Universidade Federal de São Carlos, Marius Michels, pesquisador da Universidade de Göttingen e Oliver Musshoff, também pesquisador da Universidade de Göttingen. As informações sobre seus locais de trabalho e temas de pesquisa foram retiradas dos seus artigos presentes na amostra.

Carrer tem como temas de pesquisa a adoção e difusão de tecnologias, finanças e comércio na agricultura e microeconomia. Michels é pesquisador das áreas de economia agrícola, digitalização e *smart farming*. Musshoff trabalha com pesquisas sobre finanças, gerenciamento de riscos e econometria aplicada. Os artigos mais citados destes autores na amostra são “*Precision agriculture adoption and technical efficiency: An analysis of sugarcane farms in Brazil*” (Carrer et al., 2022), “*Smartphone adoption and use in agriculture: empirical evidence from Germany*” (Michels et al., 2020) e “*A trans-theoretical model for the adoption of drones by large-scale German farmers*” (Michels; Von Hobe; Musshoff, 2020). O Quadro 4.2 traz a lista dos cientistas mais produtivos da amostra:

Quadro 4.2 - Autores que mais publicaram trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.

Autor	Nº de publicações	Afiliação	País da afiliação
Marcelo Carrer	4	Universidade Federal de São Carlos	Brasil

Autor	Nº de publicações	Afiliação	País da afiliação
Marius Michels	4	Universidade de Göttingen	Alemanha
Oliver Musshoff	4	Universidade de Göttingen	Alemanha
Jan Börner	3	Universidade de Bonn	Alemanha
Spyros Fountas	3	Universidade Agrícola de Atenas	Grécia
Yunfu Huo	3	Universidade de Dailan	China
Margherita Masi	3	Universidade de Bolonha	Itália
Carlos Mozambani	3	Universidade Federal de São Carlos	Brasil
Tiago Oliveira	3	Universidade Nova de Lisboa	Portugal
Ying Shi	3	Instituto de Pesquisa do China Telecom Corporation Limited	China

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O Quadro 4.3 mostra quais são os trabalhos mais citados na amostra. Everett Rogers aparece com grande relevância, tendo três edições do seu livro “*Diffusion of Innovations*” entre as 10 obras mais citadas da amostra. Também se destacam Ajzen (1991), Davis (1989) e Venkatesh (2003), autores de artigos que trazem ideias que explicam a adoção de inovações de diferentes formas, propondo novas teorias e construtos teóricos e unificando conceitos.

Quadro 4.3 - Trabalhos mais citados pelos trabalhos da amostra de artigos coletada sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.

#	Título	Autores	Revista ou editora (ISSN/ISBN)	Citações
1	Diffusion of Innovations (5ª ed)	Rogers (2003)	Free Press (0-7432-2209-1)	24
2	Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology	Davis (1989)	MIS Quarterly (2162-9730)	13
3	The theory of planned behavior	Ajzen (1991)	Organizational Behavior and Human Decision Processes (1095-9920)	12
4	Drivers of precision agriculture technologies adoption: a literature review	Pierpaoli et al. (2013)	Procedia Technology (2212-0173)	12
5	Exploring the adoption of precision agricultural technologies: a cross regional study of EU farmers	Barnes et al. (2019)	Land Use Policy (1873-5754)	11
6	Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications	Tey e Brindal (2012)	Precision Agriculture (1573-1618)	11
7	User acceptance of information technology: toward a unified view	Venkatesh et al. (2003)	MIS Quarterly (2162-9730)	11
8	Diffusion of Innovations (1ª ed)	Rogers (1962)	Free Press (0-5984-1104-6)	10

#	Título	Autores	Revista ou editora (ISSN/ISBN)	Citações
9	Diffusion of Innovations (4ª ed)	Rogers (1995)	Free Press (0-0287-4074-2)	9
10	A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process	Pathak, Brown e Best (2019)	Precision Agriculture (1573-1618)	8

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O Quadro 4.4 identifica quais foram os periódicos que mais publicaram na amostra analisada nesta pesquisa. Os três periódicos mais importantes dentro da amostra são “*Agriculture*”, “*Sustainability*” e “*Precision Agriculture*”, com respectivamente 19, 10 e 9 publicações. Todas as publicações são da área das Ciências Agrárias. Entre as revistas mais citadas, apenas uma é da área das Ciências Sociais, a “*Technological Forecasting and Social Change*”.

Quadro 4.4 -Periódicos que mais publicaram trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.

Periódicos	Freq.	Rate	ISSN	Cite Score (2022) Scopus
Agriculture	19	24,68%	2077-0472	3.6
Sustainability	10	12,99%	2071-1050	5.8
Precision Agriculture	9	11,69%	1573-1618	11.1
Technology in Society	8	10,39%	1879-3274	11.2
Heliyon	6	7,79%	2405-8440	5.6
Journal of Rural Studies	6	7,79%	1873-1392	8.1
Agronomy	5	6,49%	2073-4395	5.2
Land Use Policy	5	6,49%	0264-8377	11.8
Technological Forecasting and Social Change	5	6,49%	1873-5509	17.2
Computers and Electronics in Agriculture	4	5,19%	0168-1699	13.6

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O periódico *Agriculture*, mantido pelo MDPI, publica trabalhos em diversas áreas ligadas à agricultura, de tecnologia de produção animal e agrícola a gestão rural e desenvolvimento agrícola. Dos 10 artigos mais citados da amostra, nenhum foi publicado por esta revista. O artigo mais citado entre suas 19 publicações é “*Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers*”, de Bolfe et al. (2020a), que ocupa a 27ª posição no ranking de citações, com 66 citações.

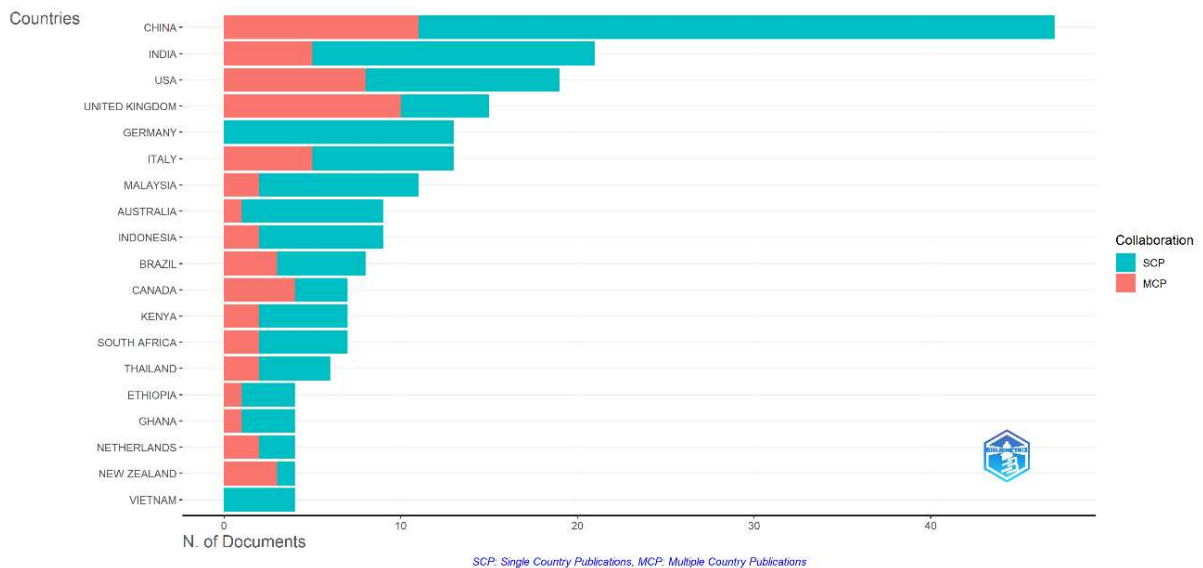
Sustainability é um periódico também mantido pelo MDPI. Ele trata de assuntos relacionados à sustentabilidade cultural, econômica, social e ambiental. Embora seja o segundo

periódico com mais publicações na amostra, seu artigo com maior número de citações e que ocupa a posição 62 do ranking de citações, com 25 citações, é “*Blockchain Adoption in Agricultural Supply Chain for Better Sustainability: A Game Theory Perspective*”, de Song et al. (2022).

A revista *Precision Agriculture*, mantida pela *Springer*, publica trabalhos sobre agricultura de precisão, enfatizando a eficiência no uso, produção, rentabilidade e sustentabilidade da produção agropecuária. Seu artigo mais citado na amostra, “*Smartphone adoption and use in agriculture: empirical evidence from Germany*” (Michels et al., 2020), ocupa a posição 17 no *ranking* geral de citações, sendo mencionado 81 vezes em outros trabalhos. Esse é o segundo artigo mais citado de Marius Michels na amostra, que é o segundo autor mais produtivo dentro dos trabalhos selecionados para análise.

A Figura 4.2 mostra a distribuição dos países que pesquisam adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura em forma de gráfico de barras empilhadas.

Figura 4.2 - Distribuição da produção científica por países de origem dos autores dos trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus, por artigos publicados por um único país (SCP) e por artigos publicados por 2 ou mais países em conjunto (MCP).



(Colocar a tradução) Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Os principais países, em volume de publicações, são China, Índia, Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha. Estes países publicaram 39,9% de todo o volume de trabalhos analisados nesta pesquisa. O Brasil é o 9º país que mais publicou na amostra, com oito trabalhos. Destes oito artigos, três foram publicados em parceria com pesquisadores estrangeiros. Quando

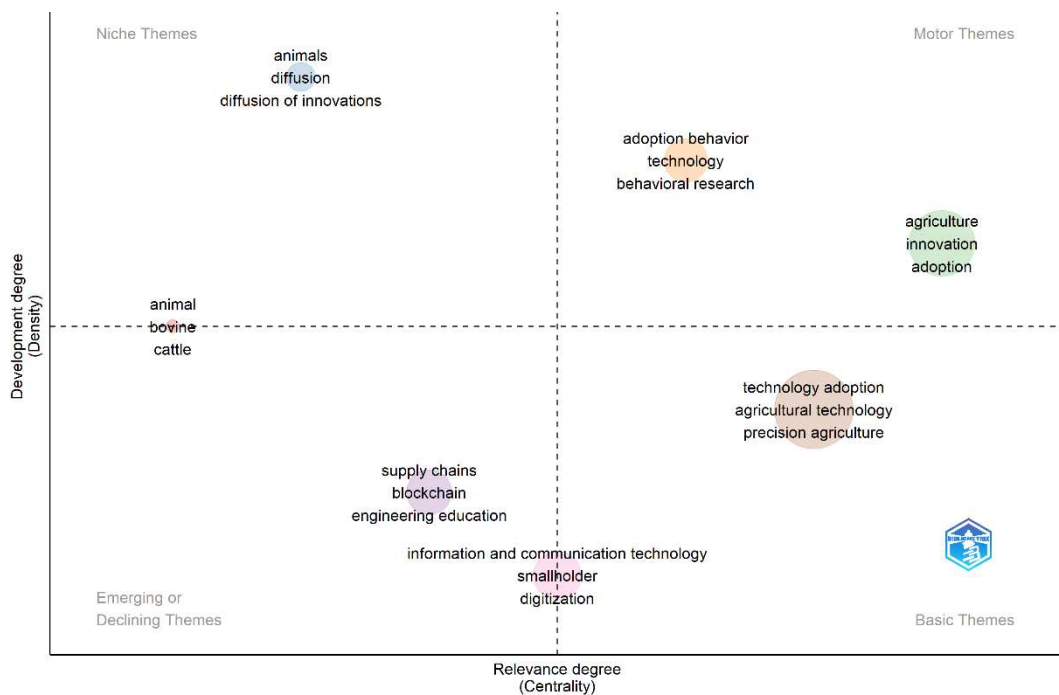
o volume de citações por país é analisado, os Estados Unidos figuram como país mais relevante, com 820 citações, seguido por Índia, com 783 citações e Reino Unido, com 733 citações.

No mapa temático mostrado na Figura 4.3, é possível entender quais são os temas abordados nos trabalhos da amostra e como estão agrupados em quatro diferentes quadrantes: temas básicos, temas motores, temas de nicho e temas emergentes ou em declínio.

Entre os temas motores há dois nichos. Um dos nichos tem os termos *agriculture*, *innovation* e *adoption*, que reúne trabalhos que estudam a adoção de inovações na agricultura. O outro cluster tem os termos *adoption behavior*, *technology* e *behavioral research*, ilustrando trabalhos focados em entender o comportamento dos adotantes de tecnologias.

Um nicho contém os termos *diffusion*, *diffusion of innovations* e *animals*. Este nicho está no quadrante de temas de nicho, que são temas em desenvolvimento, mas com alta relevância.

Figura 4.3 - Mapa temático dos trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Foram geradas, também, as redes de cocitação de publicações e para compor a frente de pesquisa. A Figura 4.4 mostra a rede de cocitação dos artigos da amostra. Foram identificados quatro clusters que se conectam dentro da temática.

O principal trabalho dentro do *cluster* amarelo é a quinta edição do livro “*Diffusion of Innovations*”, de Rogers (2003), que apresenta a Teoria da Difusão de Inovações, que explica

como inovações são introduzidas e difundidas em um sistema social ao longo do tempo, como os diferentes tipos de adotantes se comportam em relação à introdução de novas ideias no grupo e quais são os fatores que afetam as taxas de adoção de inovações.

No *cluster* roxo, temos o artigo de Ajzen (1991) como trabalho principal. O artigo “*The theory of planned behavior*” consolida a Teoria do Comportamento Planejado publicada em trabalhos anteriores do autor e responde lacunas teóricas, mostrando a possibilidade de antever intenções comportamentais a partir das atitudes acerca de comportamento, normas subjetivas e controle comportamental compreendido. Muito relevante no mesmo grupo, há o trabalho de Venkatesh et al. (2003), intitulado “*User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View*”, que busca unificar elementos de oito teorias que explicam a adoção de tecnologias da informação em um único corpo de ideias. As teorias utilizadas pelos autores para construir o modelo são a Teoria da Ação Racional, o Modelo de Aceitação de Tecnologia, o Modelo Motivacional, a Teoria do Comportamento Planejado, um modelo que combina o Modelo de Aceitação de Tecnologias com a Teoria do Comportamento Planejado, o Modelo de Utilização do Computador Pessoal, a Teoria da Difusão de Inovações e o Cognitivismo Social.

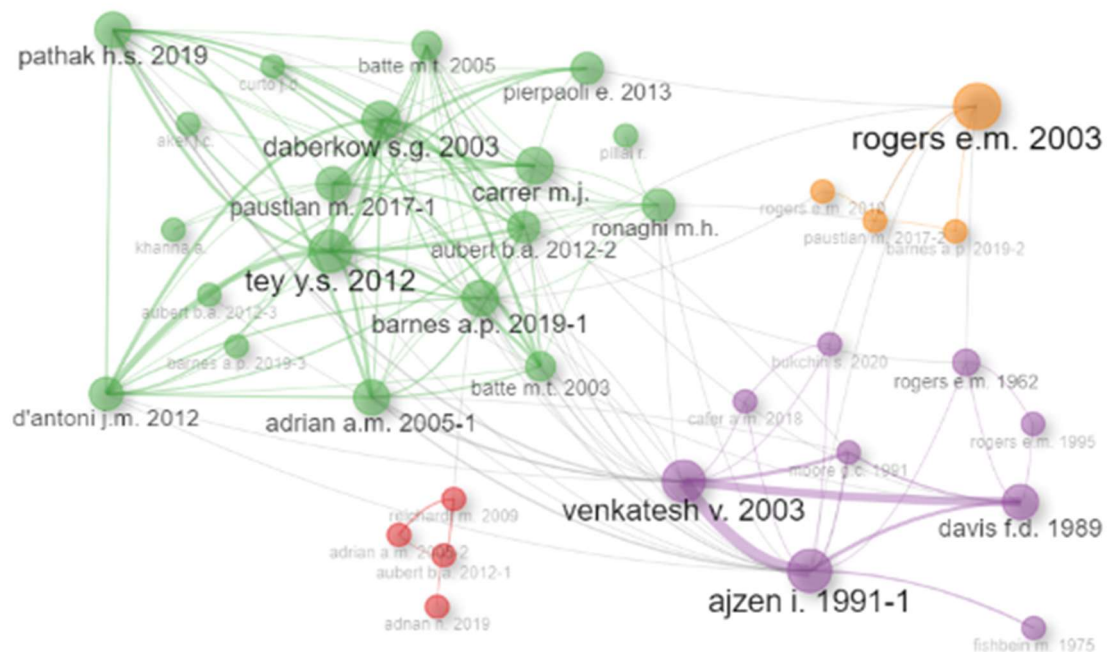
No *cluster* verde, o trabalho de Tey e Brindal (2012) é o mais importante. O artigo “*Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications*” é uma revisão que busca entender quais fatores afetam a adoção de tecnologias de agricultura de precisão. Além de apresentar como resultado mais de 30 fatores que podem afetar a adoção de tecnologias de agricultura de precisão, o artigo sugere políticas para os países ditos desenvolvidos e em desenvolvimento para a ampliação da adoção destas tecnologias. Também é relevante o trabalho de Adrian, Norwood e Mask (2005), que dizem que quanto maior a confiança do produtor na tecnologia, mais rápida tende a ser a adoção da inovação. A confiança nas tecnologias, segundo os autores, poderia ser aumentada com o uso de demonstrações das práticas e inovações agrícolas. Outro trabalho relevante é “*Farm and Operator Characteristics Affecting the Awareness and Adoption of Precision Agriculture Technologies in the US*”, de Daberkow e McBride (2003). Eles analisaram qual o impacto dos esforços de sensibilização na adoção de tecnologias de agricultura de precisão nos Estados Unidos e constataram que os esforços de comunicação podem não ser efetivos para aumentar a adoção de tecnologias de agricultura de precisão porque os fazendeiros que enxergam as vantagens de adotá-las já têm ciência das características da inovação.

No *cluster* vermelho, os quatro trabalhos têm relevância semelhante. Três dos quatro autores deste *cluster* tratam das percepções de agricultores em relação às tecnologias de agricultura de precisão em seus trabalhos. Para Aubert, Schroeder e Grimaudo (2012), as

tecnologias de agricultura de precisão têm de ser fáceis de utilizar e se mostrar úteis para serem adotadas. Para Reichardt e Jurgens (2009), o consumo de tempo e a complexidade de uso afetam negativamente o processo de adoção das tecnologias de agricultura de precisão. Para estimular a introdução de práticas de agricultura de precisão, os autores pontuam a educação como uma forma importante de aumentar a adoção destas tecnologias. Adrian, Dilliard e Mask (2005) discutem o uso de tecnologias de sistemas de informação geográficos na agricultura, seus impactos e perspectivas futuras. O trabalho de Adnan et al. (2019) destoa dos demais ao revisar o comportamento de produtores rurais em relação a tecnologias de adubação verde com base em estudos que utilizaram a Teoria do Comportamento Planejado, Modelo de Aceitação de Tecnologias, Teoria da Ação Racional e a Teoria da Difusão de Inovações.

Analisando a rede, é possível entender que os *clusters* amarelo e roxo são menores do que o *cluster* verde porque concentram os trabalhos utilizados como base teórica para explicar a adoção de tecnologias. O *cluster* verde tem mais peso nesta amostra porque concentra os estudos empíricos que aplicam as teorias na análise da adoção e difusão de tecnologias na agricultura.

Figura 4.4 - Rede de cocitação de trabalhos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.



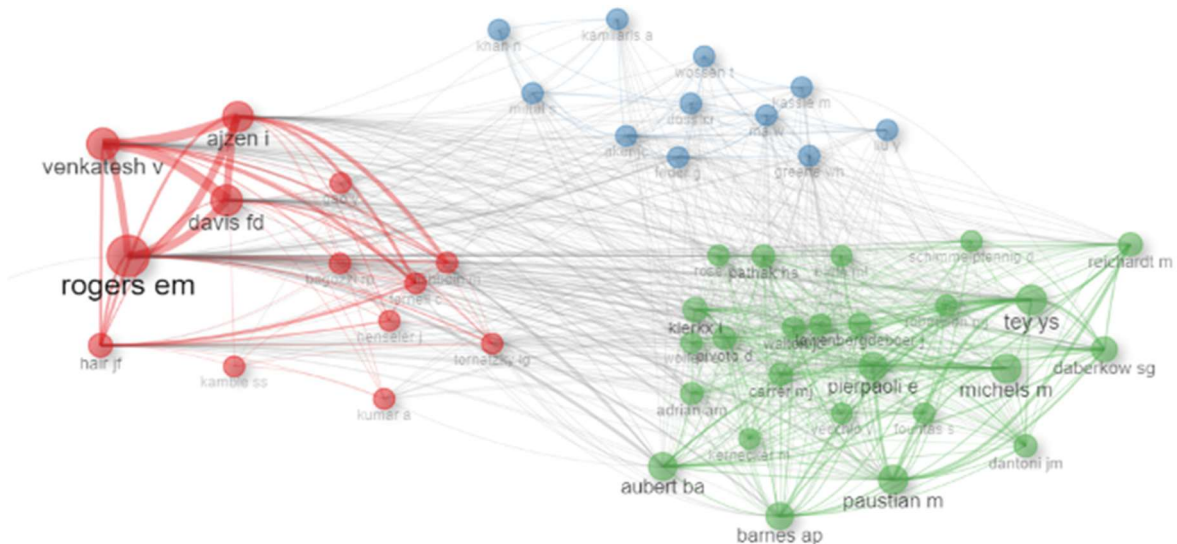
Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Foram identificados 3 diferentes *clusters* na rede de co-citação de autores, mostrados na Figura 4.5. O *cluster* vermelho tem como principais autores Everett Rogers, Shankar Venkatesh, Icek Ajzen e Fred Davis. Estes autores são os pais de construtos teóricos que buscam entender como os indivíduos adotam inovações, como a Teoria da Difusão de Inovações, a Teoria do Comportamento Planejado, a Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia e a escala baseada na utilidade percebida, facilidade de uso percebida e aceitação da tecnologia da informação pelo usuário (Rogers, 2003; Venkatesh, 2003; Ajzen, 1991; Davis, 1989).

Os autores mais importantes do *cluster* verde são Marius Michels, Yin Tey e Laurens Klerkx. Estes autores estudam a adoção de diferentes tecnologias de agricultura de precisão em diferentes contextos. Nesse *cluster*, também está presente o pesquisador brasileiro Marcelo Carrer.

O *cluster* azul tem uma homogeneidade na importância de seus pesquisadores. Os três pesquisadores mais importantes do *cluster* são Gershon Feder, Jenny Aker e Menale Kassie, que discutem a adoção de tecnologias na agricultura no contexto de países em desenvolvimento.

Figura 4.5 - Rede de cocitação de autores sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura na amostra coletada na base Scopus.

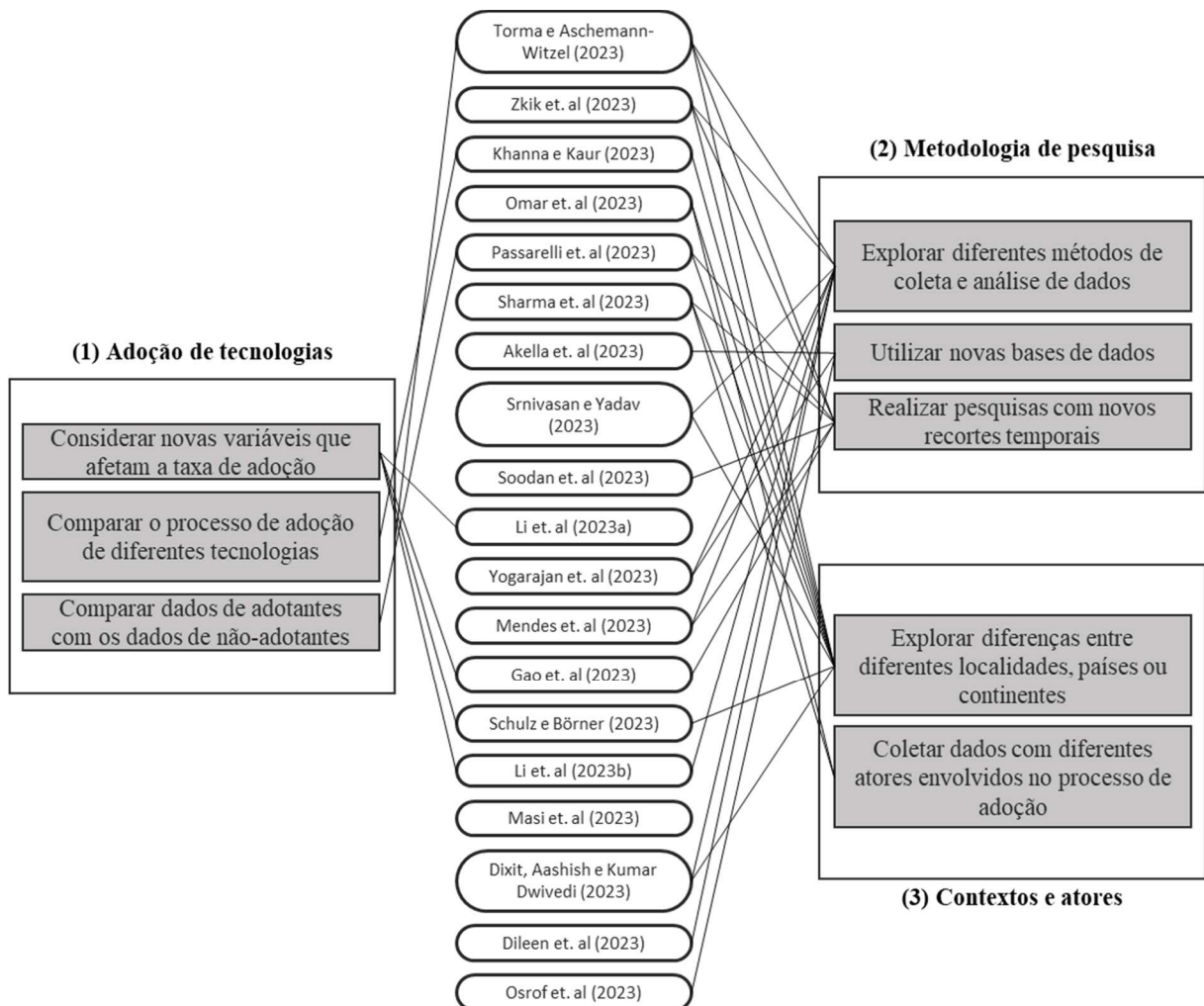


Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Para apresentar as tendências de investigação sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura, foram analisadas as sugestões de pesquisa dos artigos da amostra que foram publicados no ano de 2023 e que contavam, até a data da escrita deste trabalho, com pelo menos 2 citações. O recorte foi escolhido por conta do alto volume de publicações do ano. Os artigos publicados em 2023 representam um montante de 89 artigos, enquanto os trabalhos de

2023 que contavam com duas citações ou mais na data da realização da busca somaram 36 documentos. Destes, 35 textos foram encontrados na íntegra e 19 textos contavam com sugestões para futuras pesquisas. Três temas compõem a Figura 4.6, que foi elaborada com base nos 19 trabalhos selecionados para a criação da agenda de pesquisa desta revisão. Os temas são: (1) Fatores de adoção; (2) Metodologia de pesquisa; e (3) Grupos e culturas. Além destes temas, os autores sugeriram considerar efeitos políticos da adoção de tecnologias na agricultura, considerar o papel da rede de contatos e outros fatores contextuais na adoção de tecnologias, investigar práticas de transação entre tecnologias e motivos de resistência às tecnologias de agricultura de precisão (Akella et al., 2023; Soodan et al., 2023; Masi et al., 2023; Dileen et al., 2023).

Figura 4.6 - Mapa de direções de pesquisas futuras sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura feito a partir da amostra coletada na base Scopus.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O tema 1 fala sobre direções para o estudo do processo de difusão e adoção de tecnologias na agricultura, sugerindo apresentar novas variáveis de análise, estudos comparativos entre processos de adoção e entre tipos de adotantes (Torma; Aschemann-Witzel, 2023; Khanna; Kaur, 2023; Passarelli et al., 2023; Li et al., 2023a, 2023b; Gao et al., 2023; Schulz; Börner, 2023). O tema 2 trata da necessidade de modificar e utilizar diferentes métodos de pesquisa e de coleta e análise de dados, bases de dados e recortes temporais nos estudos que tratam da difusão e adoção de tecnologias na agricultura (Torma; Aschemann-Witzel, 2023; Zkik et al., 2023; Passarelli et al., 2023; Sharma et al., 2023; Akella et al., 2023; Srinivasan; Yadav, 2023; Soodan et al., 2023; Yogarajan et al., 2023; Mendes et al., 2023; Gao et al., 2023; Li et al., 2023b; Dixit; Aashish; Kumar Diwedi, 2023; Dileen et al., 2023; Osrof et al., 2023). O tema 3 fala sobre a sugestão de estudar o contexto de diferentes regiões e atores envolvidos com o processo de difusão e adoção de tecnologias na agricultura (Torma; Aschemann-Witzel, 2023; Zkik et al., 2023; Omar et al., 2023; Passarelli et al., 2023; Sharma et al., 2023; Srinivasan; Yadav, 2023; Schulz; Börner, 2023; Dixit; Aashish; Kumar Diwedi, 2023; Dileen et al., 2023; Osrof et al., 2023).

4.2 Caracterização do perfil dos entrevistados

O presente estudo contou com quatorze cafeicultores inovadores, todos vinculados à cooperativa COOMAP, da cidade de Paraguaçu, no Sul de Minas Gerais. Eles foram identificados pelos códigos Entrevistado 01 a Entrevistado 14, para preservar o anonimato. A caracterização detalhada desses participantes é fundamental para compreender o contexto sociodemográfico e produtivo que envolve o processo de adoção de inovações tecnológicas no âmbito cafeeiro. A seguir, apresenta-se uma descrição integrada dos perfis, contemplando sexo, faixa etária, escolaridade, dimensão das propriedades, regime de posse da terra, composição da força de trabalho, estruturas de renda, estratégias de agregação de valor, meios de aquisição de informações sobre tecnologias digitais, e tecnologias e agricultura digital utilizadas. Esse panorama permitirá ancorar a análise subsequente dos fatores que influenciam o uso de tecnologias digitais, situando o grupo de entrevistados no grupo de produtores rurais inovadores descrito por Rogers (2003) e Diederer et al. (2003).

4.2.1 Características demográficas dos produtores rurais inovadores

Em termos de composição de gênero e idade, dos quatorze participantes, treze são do sexo masculino e apenas uma é do sexo feminino, evidenciando um predomínio masculino característico da cafeicultura regional. A idade média dos entrevistados é de 43 anos, com idade mínima de 30 anos e idade máxima de 68 anos. A variação etária reflete diferentes gerações de produtores, o que pode influenciar tanto a forma de acesso à informação quanto a receptividade a tecnologias digitais, uma vez que indivíduos mais jovens tendem a incorporar recursos online com maior rapidez. No que concerne ao nível de escolaridade, observa-se um perfil educacional elevado. Cinco entrevistados possuem pós-graduação, outros cinco concluíram o ensino superior, dois terminaram o ensino médio e dois chegaram até o ensino fundamental.

A análise da dimensão das propriedades revelou que a área média destinada ao cultivo de café entre os entrevistados é de aproximadamente 50 hectares, com extremos variando de 2,3 hectares a 140 hectares. Há várias metodologias para categorizar um produtor rural pela área de sua propriedade e, aqui, utiliza-se o critério definido pela certificação Fairtrade, de até 30 hectares de área plantada do produto certificado como um pequeno agricultor familiar (Fairtrade, 2025). Dos entrevistados, 6 podem ser considerados pequenos agricultores pelas normas de referência e 8, considerados produtores maiores. A média de área plantada entre os entrevistados é de 49,73 hectares. Entre os pequenos agricultores, a média é de 18,22 hectares. Entre produtores rurais maiores, a média é de 73,37 hectares plantados de café. Além do café, 6 entrevistados relataram trabalhar com outras culturas e atividades agrícolas, como pecuária leiteira, pecuária de corte, soja, feijão, milho, sorgo, mirtilo e frutas cítricas.

Quanto ao regime de posse da terra, verificou-se que oito entrevistados operam predominantemente em regime de arrendamento ou em combinação de terra arrendada e própria, enquanto cinco cultivam exclusivamente terras de sua propriedade.

A composição da força de trabalho também varia significativamente entre os entrevistados. O número de funcionários fixos oscila de zero a sete, com média inferior a um empregado fixo por propriedade, o que indica estruturas administrativas enxutas. Todos os entrevistados recorrem à contratação de mão de obra temporária durante a colheita, especialmente para operações mecanizadas. Pelas regras da certificação Fairtrade, essa média faz sentido, pois a ênfase da certificação está em fazendas que usam principalmente a força de trabalho familiar no trabalho do campo e que não dependem de funcionários externos (Fairtrade, 2025).

Sobre a renda familiar, treze entrevistados declararam uma renda mensal superior a cinco salários-mínimos, enquanto apenas um apresenta renda até esse limite. Destes que ganham acima de cinco salários-mínimos, dez produtores complementam a renda advinda da

agricultura com outras atividades econômicas, como serviços de consultoria e assistência técnica, comércio e empregos em tempo integral dentro e fora da cooperativa.

Em relação à especialização e agregação de valor, foi possível verificar que poucos produtores rurais fazem algum tipo de atividade para ampliar o valor do seu café. Quatro produtores produzem cafés especiais e apenas dois transformam parte da produção em café torrado e moído de marca própria. Dois entrevistados ainda não produzem café especial, mas demonstram intenção de começar a produzir este produto e dois outros produtores mostram interesse em começar a vender café diretamente por meio da criação de uma marca própria.

Dos quatorze cafeicultores inovadores, sete declararam ser filiados a outras cooperativas, enquanto seis afirmaram serem cooperados apenas da COOMAP e um deixou a questão em branco, sugerindo ausência de participação formal. Entre as cooperativas mencionadas aparecem instituições como COOPAMA (3 cooperados), COOXUPÉ (2 cooperados), COCATREL (2 cooperados), Minasul (1 cooperado), COOPERCITRUS (2 cooperados) e COOPERVASS (1 cooperado). De modo geral, a relação dos produtores com as cooperativas adicionais é baseada na racionalidade e orientada ao aproveitamento de vantagens pontuais. Eles mantêm a COOMAP como instituição de referência para a assistência técnica, a rastreabilidade Fair Trade e a comercialização principal do café, mas recorrem a outras organizações, acima de tudo, para cotar preços, adquirir insumos, peças e serviços logísticos ou aproveitar facilidades operacionais, como portais de venda on-line.

4.2.2 Caracterização dos canais de obtenção de informações sobre tecnologias digitais

Entender como os cafeicultores obtêm informações sobre tecnologias digitais é essencial para explicar como estas inovações se espalham no grupo. Os dados mostram três principais formas de circulação do conhecimento. A primeira envolve fontes institucionais, como cooperativas, técnicos e empresas fornecedoras. A segunda rota é composta pelas redes interpessoais locais, em que vizinhos, grupos de WhatsApp e encontros informais permitem trocar experiências de sucesso ou fracasso. A terceira rota passa por canais digitais abertos usados pelos produtores para buscar tutoriais, notícias e comparativos de produtos.

A primeira forma diz respeito às fontes institucionais, compostas principalmente pela assistência técnica das cooperativas e pelo contato direto com agrônomos vinculados a empresas fornecedoras:

“As próprias cooperativas que passam pra gente quando vai ter um curso, uma coisa a mais.” (Entrevistado 02).

“Bom, a gente tem muito contato com outros agrônomos, né? Os vendedores mesmo sempre trazem alguma tecnologia nova, né?” (Entrevistado 04).

“Eu sempre tenho o técnico da cooperativa que me assiste. [...] Porque tudo que eu trago, tudo o que você trouxe de demanda pra cooperativa, mesmo não sendo paga, eu acredito que é bem atendido sim” (Entrevistado 06).

“Hoje a gente tem um canal através da cooperativa, né, que é o WhatsApp, né? Que a gente é muito bem informado através desses canais. Tem várias palestras, né, durante o ano.” (Entrevistado 09).

“Que a cooperativa também, os técnicos deles, eles fazem muito treinamento, vem empresa aí querendo vender, faz treinamento. Se é uma coisa que eles acham que é interessante para passar para a gente, geralmente passa, né? E a gente sempre tá conversando com os agrônomos aqui” (Entrevistado 08).

“Pela minha formação e eu trabalho na área, né? Sou engenheiro agrônomo e sou atuante nessa função, então pra mim acaba tendo uma certa facilidade. Eu recebo essas informações da empresa que eu trabalho, estudo muito a respeito desse tema, porque faz parte do meu trabalho CLT, carteira assinada, né?” (Entrevistado 14).

A participação em eventos é uma parte importante da estratégia de obtenção de informações sobre tecnologias digitais de fontes institucionais. As feiras e os dias de campo realizados em âmbito regional se destacam como os eventos mais frequentes. Entre eles, incluem-se exposições setoriais promovidas por cooperativas, feiras de maquinário agrícola e demonstrações em propriedades rurais. Nessas ocasiões, os produtores têm acesso a estandes de fabricantes, sessões de testes de campo e palestras técnicas que exemplificam o funcionamento de diversas inovações para o setor:

“Na Procafé, aqui em Varginha. Tem aquela outra lá de Três Pontas, Expocafé. E alguma coisa às vezes que a cooperativa promove aqui eu procuro frequentar. SIC (Semana Internacional do Café) também.” (Entrevistado 06).

“SIC, eventos de fruticultura promovidos pela cooperativa.” (Entrevistado 07).

“Outra coisa que a gente busca: sempre quando tem dia de campo... igual, tem Expocafé, eu vou na Expocafé. Faz tempo que assim, tipo assim que eu falo, que eu não vou, que eu pulo um ano, eu sempre tento ir na Expocafé, na Procafé, e faz uns 2, 3 anos que eu tô indo naquela feira da Cooxupé, também, que eles fazem de maquinário, FEMAGRI. Então também tento ir nela. Também sempre tem umas coisas diferentes de maquinário, essas coisas.” (Entrevistado 08).

“Sempre que dá, vou. Procuro ir muito, cê entendeu? Procafé, na feira do café em Belo Horizonte, aqui mesmo, em eventos que têm aqui, de palestras, reuniões, eu sempre gosto de estar por dentro.” (Entrevistado 09).

“Expocafê, dia de campo da Procafé, Semana Nacional da Cafeicultura Moderna, lá no Cerrado. Já fui 2 vezes no Cerrado para verificar o Cerrado. Hoje é muito mais tecnológico que a gente, muito mais em todos os sentidos.” (Entrevistado 10).

“Vou na FEMAGRI, têm as feiras aqui da COOMAP também. Fevereiro agora tem uma exposição de máquinas e de colheita. AGRISHOW eventualmente a gente vai, tem a feira em Três Pontas e os dias (de campo) da Procafé.” (Entrevistado 11).

“Por muitas vezes eu vou fazer uma palestra, por exemplo, para um grupo de produtor lá com manejo fitossanitário. E a gente às vezes tem um parceiro de nutrição que vai junto. Então ele escuta a minha apresentação, eu escuto a dele. Eu acabo aprendendo, né? Biológico, assim por diante.” (Entrevistado 14)

Os mecanismos pelos quais os produtores ficam cientes desses eventos envolvem tanto canais institucionais quanto redes informais, que transmitem informações tanto digitalmente quanto presencialmente. As cooperativas utilizam meios de comunicação, como aplicativos de mensagens, para divulgar a programação de eventos. Paralelamente, circulam convites por meio de grupos de WhatsApp externos, anúncios em redes sociais e boca a boca em comunidades locais:

“Chega por convite, que vem pelo WhatsApp, cooperativa e redes sociais.” (Entrevistado 03).

“Internet e o próprio produtor. Um vai conversando com outro. Às vezes rádio, mas é internet na maioria das vezes. Que nesses grupos de produtores sempre que tem evento, dia de campo, não sei o que é, eles colocam lá, entendeu? Aí, se der, a gente vai.” (Entrevistado 10).

“Têm as feiras, né? Que acontecem na região, que têm um calendário já pré-estabelecido e tem outros eventos que assim, hoje todo mundo descobre. Então, todos os eventos que acontecem em São Paulo, Ribeirão Preto, Belo Horizonte, ligados ao agro, eles mandam um convite. Eles querem a participação, então a gente analisa e aqueles que a gente acredita que sejam mais úteis, a gente sempre está presente.” (Entrevistado 14).

As motivações para participação nas feiras e dias de campo residem, principalmente, na necessidade de validar, em condições reais, o desempenho das tecnologias. Os produtores valorizam a possibilidade de comparar modelos e esclarecer dúvidas com especialistas no local:

“Pra conhecer o produto que eles tão divulgando e pra trocar ideias novas, de colegas assim, de outras pessoas. Ter mais conhecimento, fazer uma coisa, tem dúvida, tira dúvida, às vezes de alguma coisa que a gente não conhece. É aquele momento que a gente tem pra trocar informações e tirar dúvidas” (Entrevistado 03).

“É importante porque a maneira que eu tenho de estar fazendo alguma coisa na minha propriedade e eu não consigo, tenho que buscar quem já está fazendo, quem já está mostrando é, seguir quem já estava fazendo as coisas, né? Já deve ter errado muito para acertar, né? Então, procurar ir atrás pra ver se ganha tempo, né?” (Entrevistado 06).

“Procurar melhorar o meu conhecimento. Isso na tecnologia, né? Pra gente ganhar mobilidade, não é? Hoje a gente está passando por uma fase, eu sei que já vem isso de muito tempo, mas agora eu, acredito eu, que ficou um pouco mais difícil. Chama-se mão de obra especializada para cuidar de café, né? Eu não sei se o povo, há um tempo atrás desmotivou, então eles não procuraram buscar conhecimento dentro da área. Então eu tento buscar isso nessas feiras: Conhecimento para me favorecer, para mim, conseguir produzir, não grande quantidade, mas uma escala pequena, mas um produto de qualidade.” (Entrevistado 09).

“Pra ver as inovações, tem muita coisa boa aí surgindo a cada dia, né? Muita tecnologia, e se a gente não ficar por dentro, aí a gente fica bem atrasado.” (Entrevistado 11).

A segunda forma de obter conhecimentos sobre tecnologias digitais engloba as redes interpessoais locais, formadas por vizinhos, colegas e demais atores da comunidade agrícola. Nesse espaço relacional, o produtor observa a experiência alheia para aferir a eficácia de cada tecnologia antes de assumir o risco de adoção. A troca de relatos de sucesso ou fracasso opera como mecanismo de filtragem social, conferindo legitimidade prática às inovações que se mostram compatíveis com a realidade produtiva regional:

“A pós-graduação tem seu valor extremo, mas o contato com vários produtores, a troca de informação, o ganho é muito grande. [...] Mas a troca de informação é muito grande, ajuda assim muito a desenvolver na lavoura, a tecnologia terminar de chegar no produtor para ela poder acontecer.” (Entrevistado 02).

“E o próprio dia a dia também, de experiência de produtor, experiências que a gente vê produtores também, tipo, sei lá, meu vizinho tá usando uma tecnologia, (por) curiosidade ir lá, bater na porta e (perguntar): ‘que que cê tá fazendo? Vi que cê tá fazendo uma coisa legal, tá diferente’. Ir lá perguntar, é ter iniciativa e correr atrás.” (Entrevistado 10).

Essa troca de informações pode ser organizada na forma de grupos e comunidades de interação. Esses grupos podem ser tanto mantidos pela cooperativa, quanto externos. Estas comunidades reúnem dados sobre cotações de mercado, especificações e custos de máquinas e

implementos, indicadores de gestão, bem como informações sobre variedades de café e respectivos preços. Esses espaços permitem comparar valores praticados em diferentes praças, avaliar a viabilidade técnica de equipamentos, discutir soluções de gestão e aprofundar conhecimentos agronômicos e sensoriais das cultivares:

“(Grupo de) produtores não, só da cooperativa” (Entrevistado 03)

“Chama Cantinho do Café, aí tem pesquisadores [...], tem muitos consultores no grupo, então, e sempre que uma coisa aparece lá o pessoal vai conversando, tanto de maquinário, às vezes aparece, alguém coloca uma máquina diferente, posta, o povo conversa, (o assunto) de cultivares coloca também, entendeu? Aí, alimenta as discussões. Rapaz, eu participava também de (um grupo de) mercado de café” (Entrevistado 08)

“Eu tenho grupo, eu tenho WhatsApp da cooperativa mesmo que eles sempre mandam pra gente.” (Entrevistado 09)

“Eu participo de um grupo da EduCampo, um grupo de gestão. Então a gente faz toda a parte de controle financeiro, operacional, enfim, faz todo o controle da fazenda hoje.” (Entrevistado 10).

“Tipo, tem uns que tem muitos professores da Procafé que estudam variedade, não é? Novas variedades. no caso de novas variedades, A gente planta e depois, ao decorrer do tempo, vê que elas vão ficando obsoletas, né? Então, assim, nestes pontos, produtos, inovações mesmo.” (Entrevistado 13).

“Eu tenho vários grupos aqui, de produtores, mas não de troca de informações. É mais é preço de café e assim por diante. [...] Tem grupo aqui, por exemplo, de preço de café. Aí, determinada compradora de café, uma trader e tal tem um preço x do dia. Aí, esse grupo, ele só repassa o preço, mas não é de informativo assim, além do preço do café não.” (Entrevistado 14).

Quando perguntados sobre as ocasiões em que discutem sobre tecnologias digitais com outras pessoas, os pesquisados responderam que as interações sociais sobre inovação ocorrem majoritariamente em momentos informais, como encontros inesperados, visitas técnicas, reuniões casuais ou em aplicativos de redes sociais e mensagens:

“Assim, às vezes é em reunião. Às vezes, é de encontrar mesmo na cooperativa. Eu sou muito de pedir, né? Eu falo que eu vivo pedindo. Aí eu encontro o Rogério e falo: 'Rogério! Aquela tecnologia assim, vamos procurar saber? Ah, tem um evento lá não sei aonde, será que a cooperativa pode levar nós?’” (Entrevistado 01)

“Compartilho sempre minhas experiências nos grupos.” (Entrevistado 03)..

“É eu estou mais voltado, assim, para a parte de irrigação, das coisas assim, que eu converso com quem tem e quem ainda não tem. [...] E converso com o técnico meu, que é aqui da cooperativa também. [...] É um encontro casual, aí

conversa 'como que tá lá? O que que está acontecendo? Como é que você faz?'" (Entrevistado 07).

“Bebendo cerveja, aqui na cooperativa comprando as coisas, dia de campo, a hora que encontra, na visita do agrônomo, ocasionalmente.” (Entrevistado 10).

“Converso, geralmente aqui eu converso muito com o Leandro, com o técnico que me atende, com o Rogério. Sempre eles estão aí, com uma tecnologia nova, tanto aí em processo quanto em produto. [...] Às vezes a gente faz uma reunião. Ou no dia a dia aí, conforme a gente encontra, conversa, não é? Tem época que eles reúnem aí os maiores produtores para divulgar um produto, não é? Tem época que é para todo mundo, aí tem palestra, tem dia de campo. [...] Às vezes eu levo algum colega. Algum amigo, algum colega. Eventualmente, eu levo um funcionário também.” (Entrevistado 11).

A terceira forma de acessar informações abrange as plataformas digitais, onde produtores acessam com frequência espaços virtuais como o YouTube, o Instagram e sites do setor. A internet funciona como um radar contínuo de novidades, permitindo que o agricultor acesse informações, tutoriais, depoimentos e análises comparativas de forma rápida e prática:

“Hoje a gente acompanha muito rede social, né? [...] Eu acompanho mais o Instagram. Acho que é a plataforma que mais tá avançada, então, nossa, tem muito conhecimento no Instagram. É que eu trabalho com drone agrícola, aí eu sigo muitas pessoas, assim, na parte de drones. Tem gente do mundo inteiro no dia a dia postando coisa diferente e eu tô acompanhando.” (Entrevistado 03).

“Geralmente, quando a gente tem uma necessidade, geralmente eu busco informação na internet.” (Entrevistado 04).

“Sigo, igual aquele Gustavo Rennó. Têm vários influenciadores assim. O Guy Carvalho, tem o podcast da Procafé lá, que sempre eles postam coisas. Eu sigo o Sérgio lá também. Sempre leio as coisas que Sérgio, do IBC, Sérgio Parreiras que é do, como é que chama? Fugiu o nome lá, o coisa dele é antigo pra danar, deve fazer uns 15 anos que ele tem uma página na internet que sempre posta também entrevista, essas coisas. Então, é muito pela internet, Instagram e que a gente segue esses influenciadores que sempre estão postando coisas. Ele falou de alguma coisa, você vai lá e pesquisa sobre aquilo.” (Entrevistado 08).

“Gosto muito de ficar procurando canais, Globo Rural, canais de aplicativo, vendo esse depoimento desses professores pelo Instagram, Facebook, gosto muito nas horas vagas minhas estar correndo atrás de informação também.” (Entrevistado 09)

“Sites, o próprio Instagram também. Hoje tem muito, eu sigo bastante Instagram de pesquisadores ou de consultores. E sites dedicados, o Notícias Agrícolas, AgnoCafé, sites dedicados à cultura.” (Entrevistado 10).

“Então, a gente pega muita informação hoje em YouTube, nas redes sociais em geral, né? No Instagram, cursos online, palestras. Eu tenho participado

bastante online. Tô quase concluindo um curso aí de cafeicultura regenerativa, todo em plataforma online.” (Entrevistado 11).

A partir da análise dos dados, é possível verificar que as tecnologias digitais, mesmo constituindo um canal distinto de acesso a informações, também atuam como mediadoras de transmissão de informações para os canais institucionais e para os canais interpessoais. Essa integração facilita com que os atores envolvidos na comunicação, recebam e discutam conhecimentos sobre inovações digitais para a agricultura.

4.2.3 Caracterização das tecnologias digitais utilizadas pelos produtores rurais inovadores

Os 14 cafeicultores inovadores entrevistados expuseram, nesta pesquisa, as tecnologias digitais que utilizam nas suas lavouras, abrangendo tecnologias de baixa complexidade (internet e conexão sem fio, aplicativos móveis, plataformas digitais e software, sistemas de posicionamento global (GPS) e mapas digitais), média complexidade (sensores de solo proximais, sensores remotos e eletrônica embarcada, telemetria e automação) e alta complexidade (eletrônica embarcada, telemetria e automação, *deep learning* e Internet das Coisas, computação em nuvem, *Big Data*, *Blockchain* e criptografia e inteligência artificial), segundo classificação de Bolfe et al. (2020b).

O acesso à internet móvel ou fixa está presente na fala de todos os 14 entrevistados. A Internet constitui a infraestrutura mínima para o funcionamento de outras tecnologias digitais na fazenda, sustentando desde a consulta a informações e acesso à educação até a transmissão de dados de sensores e acompanhamento de indicadores de produção:

“Praticamente todo dia eu entro na internet pra estudar, eu faço Tecnologia Agrícola” (Entrevistado 01).

“Bom, a parte de internet hoje, praticamente, tá na colhedora, tá no drone, todos esses equipamentos mais sofisticados, é inevitável, tem que usar.” (Entrevistado 04).

“Estou olhando a programação da irrigação, eu consigo programar os dias, os horários, então eu vejo se está funcionando. Por exemplo, eu vou ligar ela hoje à noite. Então, agora de dia eu já estou acompanhando, [...] mas é tudo programado. Eu não preciso ligar na hora. Eu me programo segunda, quarta e sexta, 9 e meia da noite, 1 hora por cada talhão. Ela vai fazer isso para mim lá. Se tiver energia lá, ela vai ligar, independente de eu ter internet ou não. (Internet) é para acompanhar mesmo, tá?” (Entrevistado 07).

Mas mesmo que o acesso à internet esteja praticamente universalizado nas propriedades, a estabilidade do sinal permanece irregular. Para mitigar falhas, os produtores combinam soluções de redes móveis e conexão via satélite para garantir a continuidade do sinal. Essa estrutura assegura conexão básica, mas as variabilidades de velocidade e latência ainda restringem o uso contínuo de aplicações que demandam fluxo de dados em tempo real:

“A internet pega em torno de casa. [...] O telefone vai pegar só, tipo, uns 300 metros longe da minha casa. Minha casa é embaixo, aí tem que subir pro celular pegar.” (Entrevistado 01).

“Eu tenho internet só na casa. [...] Nas áreas mais altas pega sinal de telefone normal e internet do telefone.” (Entrevistado 02).

“Tem hora que a tecnologia dependendo do lugar que a gente tá ela não funciona bem, isso às vezes acontece. [...] Não sei se é por conta de sinal, às vezes o lugar que não tem o sinal tão bom, tem hora que trava o aplicativo. [...] (A conexão de internet) é boa, mas precisa ter antena. Sem antena, não pega. Se chegar lá só com o celular, não tem jeito. [...] Tem uma antena que é interligada com a antena aqui da cidade, né? Na serra, aí que tem sinal” (Entrevistado 05).

“A minha dificuldade hoje lá é internet. Vamos supor, o sinal não é bom. Você não tem fibra ótica, então é por chip, sabe? Então isso dificulta um pouquinho. Aí tem dia que não tem conexão, sabe? Chove, aí sai fora, então.” (Entrevistado 07).

“Nós temos um privilégio de ser alto e conseguir enxergar a cidade, então a gente mandou um link direto para a fazenda. A gente tem um privilégio, (por causa) da topografia conseguiu ver a torre, aí conseguiu fazer um link da torre para a fazenda. E lá na fazenda, a gente fez todo o arranjo lá, mas está melhorando muito na nossa região. Já passaram fibra, praticamente em quase todas as propriedades, então estão levando (internet) via fibra.” (Entrevistado 10).

“(Internet) via rádio, mas o sinal não é em todos os lugares” (Entrevistado 12).

“Tem da via rádio, né, que é de um município no outro e estamos tentando por uma Starlink lá agora, numa outra propriedade que não tem acesso, não está tendo como levar Wi-Fi lá.” (Entrevistado 13).

Também com adoção universal, os aplicativos móveis, plataformas digitais e softwares são utilizados para diversos fins, desde a comunicação via aplicativos de mensagens e registro e acesso a informações ao monitoramento e controle das atividades da fazenda, criando um ambiente em que informações internas e externas à propriedade se combinam, sustentando respostas rápidas às variações de mercado e às demandas operacionais:

“Eu tenho um aplicativo no meu celular que me mostra condições pra gente adubar, passar foliar, se vai conseguir plantar naquela semana.” (Entrevistado 01).

“A gente tem um grupo (no WhatsApp), toda a operação que é feita a gente vai anotando, pra depois passar pras planilhas, né? Que a gente tem tudo planilhado, custos, sacas, produção, bebidas, no final do ano agrícola a gente tem arquivado o que as certificações pedem e pro nosso próprio controle.” (Entrevistado 02).

“Uso o Bulário de Defensivos. Cê põe o nome do produto, sai lá a bula lá. A dosagem que tem que usar, o tipo de cultura que tem.” (Entrevistado 03).

“Eu vejo muito aquele **AgnoCafé** também, eu pego sempre, quase todo dia, diariamente, eu entro umas 2, 3 vezes para ver o preço de dólar e bolsa. E eu vejo o Investing, que atualiza mais rápido, o Investing Café. Também é a bolsa, que aí, abre lá, tem um gráfico, eu gosto de olhar também. Se eu for vender um café, aí eu começo a acompanhar mais.” (Entrevistado 08).

“O próprio (aplicativo) EduCampo, o aplicativo do meu sistema de irrigação, controlo a irrigação hoje pelo aplicativo.” (Entrevistado 10).

“Eu utilizo esses para medir tensão, é para medir a localização, e utilizo também pra consultar a bula de defensivos, tudo mais.” (Entrevistado 11).

“Na verdade, tipo assim, nós temos um aplicativo das câmeras que tem na propriedade, do movimento e tudo, porque lá meu sogro e minha sogra moram lá na propriedade. Então, a gente acaba monitorando. Aplicativo bancário, obviamente. Eu vendo um café, eu tenho que fazer transferência, pagar algum tercerizado, alguma coisa assim, né? Esse tipo de coisa. Não é nem aplicativo, mas uma planilha de Excel, por exemplo, que é uma das coisas que a gente usa muito pra passar as informações pro consultor do ATeG (Assistência Técnica e Gerencial). Aí ele devolve na forma de dados pra gente, que a gente analisa. Então é esse tipo de plataforma e óbvio, o negocinho que eu tô vendo ali, o símbolo ali do YouTube.” (Entrevistado 14).

A utilização de mapas digitais e tecnologias de GPS aparece igualmente em 100 % dos relatos, mas com graus de sofisticação distintos, da demarcação de talhões e medição de áreas e distâncias à utilização de receptores de alta precisão em máquinas. O uso intensivo de mapas digitais viabiliza melhor planejamento das operações, além de servir para a prestação de contas da certificação Fairtrade:

“Eu uso Google Maps direto, eu uso um que mede área, distância.” (Entrevistado 02)

“A parte de GPS é muito importante pra evitar, diminuir desperdício, fazer da forma correta, né?” (Entrevistado 04).

“Todos os nossos tratores hoje são equipados com GPS, então eu controlo operações por ele também, e mapa digital a fazenda inteira, ela é mapeada digitalmente.” (Entrevistado 10).

“Field Area Measure (aplicativo). (Serve para) calcular o que que vai gastar de insumos, regulagem de implementos... Como a gente tem áreas aí arrendadas para poder acertar o preço do arrendamento. Para ter exatidão nos dados, não é?” (Entrevistado 11).

“A gente está fazendo estudos, por exemplo, não sei se até se cabe nisso aí, mas estamos fazendo um planejamento para ampliar a área de café. Aí eu uso muito o Google Earth, né? Pra mim ver a limitação da área, apesar de dar as diferenças de hectare, mas eu uso muito a plataforma pra mim, pra mim ver, fazer estudo, até estudo econômico, pra ver quanto que a gente vai investir, né?” (Entrevistado 14).

Quando perguntados sobre sensores de solo proximais, apenas cinco produtores relataram uso destes dispositivos. Entre os adotantes, o dispositivo é usado principalmente junto a sistemas irrigação, que integram leitura contínua do solo e aplicativos móveis que leem estes dados e permitem acompanhar a necessidade de irrigar ou suspender o aporte de água. O baixo número de adotantes sugere que, apesar do potencial de ganhos em eficiência, os sensores de solo ainda se encontram em estágio inicial de adoção:

“A irrigação, por exemplo, eu utilizo aqui pra programar, para poder acompanhar, eu faço por aqui. E câmeras de monitoramento, tá? Mas eu uso tudo aqui em casa por celular, tá?” (Entrevistado 07).

“Proximal eu tenho sensor de solo de irrigação. No caso, que eu meço com tensiômetro, porque eu vou medir umidade na camada de solo, é meu sensor de solo.” (Entrevistado 10).

O emprego de sensores remotos em máquinas como drones, está presente na fala de 5 entrevistados. Com 8 adoções, a telemetria e a eletrônica embarcada compreendem, neste contexto, os tratores com inteligência embutida. Os motivos do uso incluem o maior poder de acompanhamento das máquinas e das rotinas dos seus operadores:

“Eu tenho no meu celular, né, o aplicativo [...] de rastreamento dos meus tratores. Aí eu tenho, eu consigo saber onde é que eles estão, o que estão fazendo, a velocidade que estão andando, mas isso aí eu tenho no meu celular.” (Entrevistado 06).

“Controlo por aqui (pelo telefone). Eu vejo que que estão fazendo, o que que fizeram hoje, trabalho, tudo. Consigo travar ou bloquear um trator.” (Entrevistado 10).

Nenhum entrevistado declarou o uso de tecnologias que envolvam *deep learning* ou redes de sensores IoT. Quando perguntados sobre tecnologias de computação em nuvem, *big*

data, *blockchain* ou criptografia, os entrevistados responderam que utilizam apenas a computação em nuvem. Dos 14 produtores entrevistados, 10 utilizam plataformas de armazenamento de dados em nuvem para fazer backup de registros, sincronização de aplicativos de gestão e compartilhamento de documentação exigida pelas certificações de suas fazendas e das suas propriedades.

“A gente usa a computação em nuvem sim. A parte nossa da certificação hoje está tudo nas nuvens, então tudo que a gente sobe de documentos está tudo nas nuvens.” (Entrevistado 10).

Cinco produtores declararam utilizar alguma forma de inteligência artificial. O uso, contudo, é pontual, restrito a tarefas específicas, sem integração com os demais sistemas digitais já presentes na fazenda, permanecendo mais como experimentação do que como parte consolidada do processo produtivo:

“De vez em quando só pra montar alguma frase, usa o Chat GPT pra montar alguma coisa, só.” (Entrevistado 10).

“Só pesquisa mesmo. Pergunta aí pra ter a resposta, né?” (Entrevistado 11).

Quando perguntados sobre os desafios que enfrentam no campo, surgiram questões que vão além das dificuldades de conexão à internet e que estão ligadas a vários tipos de tecnologias diferentes. A carência de mão de obra qualificada figura como barreira, pois, além da falta de pessoas dispostas a trabalhar no campo, as que demonstram interesse, muitas das vezes, não têm as habilidades necessárias para lidar com as tecnologias digitais estudadas:

“O desafio, o foco, é na mão de obra, gente mais capacitada. Eu procurei piloto pra ajudar eu trabalhar, só que os jovens parece que não querem aprender coisas novas. Já peguei até pessoas jovens [...] curiosas, mas no dia-a-dia pra pegar pra aprender mesmo, fazer um curso, parece que não, tem essa dificuldade que a gente encontra hoje. A gente roda muito e a gente vê que em fazenda tá ficando cada dia mais difícil.” (Entrevistado 03).

“A mão-de-obra é uma coisa difícil, porque tudo que cê vai implementar alguma tecnologia nova, às vezes, depende de algum conhecimento a mais, então as pessoas capacitadas tá difícil de encontrar.” (Entrevistado 04).

“Mas volto a dizer, a pessoa qualificada para mexer, que está ficando difícil, pelo menos aqui na nossa cidade.” (Entrevistado 06).

“Hoje uma coisa que eu acho que limita muito as tecnologias também é a mão de obra. Mão de obra geralmente não é qualificada. Pouco estudo, pouca destreza digital, não é? Então, aí quando tem uma tecnologia nova, você já

pensa "vai dar para aplicar para mim? não dá?", não é? Porque tem máquina hoje que se a pessoa não tiver um mínimo de escolaridade e de esperteza, não consegue operar, não é? Tem coisas que a gente já descarta. Por exemplo, eu queria colocar lá (na fazenda) um equipamento lá que comanda a parte de secagem do café inteiro: liga o secador e desliga momentaneamente, controla umidade e tudo mais. Ainda não adotei por conta da mão de obra que não vai saber lidar com isso, né?" (Entrevistado 11).

A adoção também esbarra em percepções de risco sobre as soluções. Desconfianças quanto à capacidade de lidar com as tecnologias e a segurança de suas operações levam a ensaios cautelosos e prolongados. Essa cautela, por vezes, culmina no adiamento da adoção de tecnologias digitais ou, até mesmo, na decisão de rejeitar a inovação:

“Pra mim, na minha idade, eu acho que o desafio maior é aprender a mexer com as tecnologias, certo? Mas eu acredito muito, né?” (Entrevistado 06).

“Eu antes eu tava usando um aplicativo aí que eu cadastrava os talhões, ia colocando ali, mas acabei até parando de usar porque o pessoal também não está acostumado a passar as informações.” (Entrevistado 11).

“A confiança de que isso vai dar certo. Não, dar certo vai, mas eu digo assim, a confiança de, igual, um aplicativo no banco. No começo, os meus tios que tinha na roça falavam: ‘você não vai abrir o banco?’. "Não. Se eu abrir lá um hackeia e tira o dinheiro da minha conta", entendeu? [...] Mas eu falo assim, você vai ter dificuldade de pôr isso na cabeça do povo, acho que é isso. Porque até hoje você pode ver que gente não abre aplicativo do banco, no medo de sofrer um golpe.” (Entrevistado 13).

A análise dos relatos dos entrevistados confirma o caráter gradativo da adoção de tecnologias digitais na cafeicultura, como descrito por Rogers (2003) e pelos autores que descrevem o arcabouço da Agricultura Digital (Bolfe et al., 2020a; Massruhá et al., 2020). O padrão de adoção observado segue a lógica hierárquica de complexidade tecnológica indicada no Quadro 2.3, em que recursos de baixa complexidade apresentam difusão integral, tecnologias de média complexidade são adotadas por alguns membros do grupo e as de alta complexidade permanecem, em grande medida, fora do cotidiano produtivo. Esse escalonamento reproduz a lógica da adoção de tecnologias menos complexas para mais complexas descrita por Rogers (2003), que diz que os indivíduos internalizam primeiro ferramentas que demandam menor capital cognitivo e financeiro e mais alinhadas às suas realidades, criando base para adotar, a partir daí, tecnologias mais complexas.

4.3 Atributos percebidos de inovação de produtores rurais inovadores

Esta seção analisa como produtores rurais inovadores avaliam novas tecnologias segundo cinco atributos decisivos da Difusão de Inovações: vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, observação e experimentação (ROGERS, 2003).

4.3.1 Vantagem relativa

A análise dos atributos percebidos de inovação pelos produtores rurais inovadores revela que as vantagens relativas da adoção de tecnologias digitais se apresentam de forma multifacetada, envolvendo tanto benefícios diretamente mensuráveis sob a ótica econômica, quanto ganhos intangíveis que transcendem o aspecto financeiro, conforme proposto por Rogers (2003).

Uma das vantagens relativas para os cafeicultores entrevistados tem base na capacidade das tecnologias digitais de elevar a eficiência operacional—isto é, produzir o mesmo resultado em menos tempo, com menor dispêndio de recursos, maior previsibilidade e menor exposição a riscos:

“A soja, por exemplo, não pode atrasar foliar. Aí um dia, que nem essa semana, que tá chovendo muito, a gente não consegue entrar com o trator. Então o drone vem com uma oportunidade que ele pode entrar, assim, por ele voar não tem o perigo de o solo estar úmido, não compacta o solo do produtor, então é uma oportunidade que ele tem, é uma ferramenta a mais pra fazenda. Pra não deixar a lavoura entrar doença, pra sempre estar em dia com a lavoura.” (Entrevistado 03).

“No caso do drone, é que no caso meu do café adensado lá que se eu não usar, eu não pulverizo. Aí o café ia ficar sem pulverizar, igual o povo pergunta, ‘mas cê acha que é bão?’ Eu falo: ‘uai, é a opção que eu tenho.’ [...] antes dele do que nada, entendeu?” (Entrevistado 08).

“Por exemplo, acabei de falar, eu uso o Google Earth pra mim ir lá, fazer uma medida que seja, é, não seja precisa, mas é uma medida que eu consigo ter uma noção da área, que eu possivelmente venha a plantar café. Com isso eu já faço meu planejamento financeiro, vê se cabe ou se não cabe. Apesar de talvez não ser na vírgula, mas já me dá uma noção do macro, do que eu tenho que fazer investimento. Pensa se eu não tivesse o Google Earth? Eu tinha que ir lá medir, de forma manual ou assim por diante.” (Entrevistado 14).

A eficiência pode ter, também, um caráter informacional. O acesso à internet faz o conhecimento técnico circular sem a barreira do deslocamento físico, economizando tempo e esforço dos produtores rurais. A obtenção de informações, antes limitada por distâncias e agendas, passa a ocorrer de forma rápida, contribuindo para melhores tomadas de decisão para

o trabalho do cafeicultor e para a lavoura, desde antes do plantio até a comercialização dos grãos:

"Então, eu já fiz uma faculdade, uma pós-graduação, vários cursos, tudo em cima da internet, assim. Tudo à distância. Que eu falo que eu nunca faria isso se eu precisasse sair da minha casa e ir na cidade estudar. Jamais, não ia dar conta. Então assim tudo, né? Que seja para fazer é muito, eu falo tudo que você quiser aprender qualquer área que você queira desenvolver você vai lá (na Internet), que você acha. [...] Então, assim, é muito, você aprende muita coisa. No café a gente usa muito isso. Assim, sabe, igual composto que a gente faz, que faz que as vacas ficam. A gente tirava direto e jogava no café. A gente aprendeu que não, que está errado. Nós estamos usando uma coisa que é rico fazendo ele ficar pobre porque está jogando errado. Aí aprendeu que não, que tem que fazer tudo certinho. Então, só pela tecnologia da internet que nós conseguimos saber, porque senão você não consegue saber. O dia é muito corrido. Você tem que trabalhar, não dá pra ficar, imagina, vir na cidade ou participar em várias palestras em outros lugares, que às vezes têm, dias de campo, mas não é possível de a gente sair tanto. Aí a internet leva essas coisas pra perto, né? (Entrevistado 01).

"Eu tenho um aplicativo no meu celular que me mostra condições pra gente adubar, passar foliar, se vai conseguir plantar naquela semana." (Entrevistado 02).

"Olha, eu acho que se a gente ficar informado, que hoje a informação é muito rápida. Então é, no mesmo tempo que a gente fica sabendo que acontece uma coisa lá no Vietnã, igual estava tendo aquelas enchentes lá que o café começou a subir, depois puxou o Arábica, depois teve a seca do café, do Arábica aqui no Brasil, que aí passou de novo o Conilon, o preço, é, as informações, que todo mundo agora tem informação. Se eu chegar, por exemplo, eu acho que com a maioria dos produtores, se chegar num vendedor, num comprador de café e se o cara falar R\$ 1.500,00 para ele, ele não vai vender, porque ele tem a informação. O café hoje está R\$ 2.000,00, R\$ 2.500,00, então não tem como, então essa informação é muito importante para a gente saber, pra gente descobrir novas tecnologias, nessa parte de rede sociais, contato de novas empresas para a gente fazer negócios. Automação, que hoje cê mexer com o ser humano tá a coisa mais custosa do mundo." (Entrevistado 08).

"Quando eu tinha 5, 6 anos, meu pai era naquele sistema antigo ainda. Meu pai olhava a Lua, aquele sistema antigo, ele olhava a Lua, né? Para ver a época certa de jogar um adubo que ia chover. Hoje, não. Hoje eu tiro o celular do bolso aqui, eu entro na previsão do Climatedo aqui. 'Nossa, amanhã tem previsão de 20% (de chuva)'. Eu posso jogar adubo hoje que eu tenho 100% de aproveitamento. Agora, quantos lá atrás, perdia, olhava a Lua, Mas e se não chovesse, não é?" (Entrevistado 09).

Outra vantagem relatada pelos entrevistados foi a comodidade, manifestada na eliminação de deslocamentos frequentes, na gestão remota de processos e na conciliação entre atividades rurais e outras ocupações profissionais. Nessa lógica, o ganho não é apenas

operacional, pois menos deslocamento possibilita ao produtor cumprir papéis simultâneos e realizar outras tarefas sem sacrificar o desempenho da lavoura:

“Veja bem, é ... comodidade para mim, seria eu não precisar tá indo lá onde meu funcionário está trabalhando para mim poder verificar o que está fazendo ou se está deixando de fazer, entendeu? Agilidade. O tempo que eu gasto para ir lá e para eu voltar, eu estou fazendo outras coisas. Então é uma otimização mesmo de tempo, né?” (Entrevistado 06).

“Primeira coisa é a facilidade, porque eu não preciso estar me deslocando até lá. É acompanhando mesmo a evolução, né? [...] Mais é a facilidade, pra não ter esse deslocamento. Hoje eu trabalho, eu tenho horário pra cumprir, eu não tenho disponibilidade de tempo pra poder estar lá. Coisa que eu faço em minutos aqui, eu faço por aqui.” (Entrevistado 07).

Foi dito, também, que as tecnologias digitais trazem mais segurança e confiabilidade às operações dos produtores rurais. A segurança percebida pelas tecnologias digitais se dá pela combinação de rastreabilidade operacional e confiabilidade informacional, reduzindo significativamente as incertezas do processo produtivo, por meio do uso de sensores embarcados, telemetria, GPS e acesso a dados. Estas tecnologias documentam cada etapa de aplicação, assegurando a conformidade e provendo dados para a tomada de decisão das fazendas:

“Será que o cara passou ali mesmo ou não passou? O GPS sabe se ele andou ou ele não andou. Isso é um dos maiores problemas da fazenda. E aí você tem que convencer a tua equipe toda que aquilo precisa ser feito. Você deixar de passar numa rua de café, ninguém sabe, ou ninguém sabia. Com GPS, agora sabe, entendeu? E deixava, lógico que deixa. Então, ‘ah, tá acabando ali, eu vou voltar no sábado, Quase meio-dia, já estou encerrando. Nossa, tem que voltar lá para abastecer o trator só para mais 3 sacos de adubo. Ah, larga a mão, vou pular isso aqui’. Pula. Às vezes, você não fazer, dá um resultado muito ruim.” (Entrevistado 10).

“Pra quem já começa a ter propriedades maiores, de ter o controle da telemetria, de eficiência, vamos supor, se o funcionário está realmente cumprindo o horário e tal, como forma de monitoramento, isso é uma questão que todo mundo amanhã vai ter, de médio para frente.” (Entrevistado 12).

Os produtores identificam vantagens econômicas diretas, como a redução de custos através de aplicação por drones, a economia de insumos e o aumento de produtividade pela precisão dos sistemas de aplicação, bem como vantagens não econômicas — a comodidade de monitorar a lavoura e coordenar equipes à distância, sem precisar interromper outras atividades, o acesso instantâneo a conhecimentos técnicos que antes exigiam deslocamentos, e a segurança

proporcionada pela rastreabilidade operacional e da disponibilidade de dados. Embora esses benefícios intangíveis não apareçam imediatamente no balanço financeiro, eles trazem valor econômico aos produtores rurais ao reduzir perdas na lavoura, acelerar ajustes de campo e minimizar riscos climáticos e de mercado.

Esse conjunto de evidências empíricas corrobora diretamente as generalizações de Rogers (2003) sobre vantagem relativa: quanto mais econômico for o uso de um insumo, maior a predisposição à adoção (Rogers, 2003). No caso dos cafeicultores, essa redução de custo se manifesta na aplicação com drones, na economia de fertilizantes e na precisão das operações, exatamente o que Silk et al. (2014) ilustraram ao mostrar que moinhos de vento são adotados quando se provam mais eficientes, e não somente mais baratos, que os métodos tradicionais. Isto também é consonante com as ideias de Dan, Osterheider e Raupp (2019), de que agricultores estão dispostos a investir mais quando percebem oportunidade real de aumento de qualidade ou retorno financeiro.

Além disso, essas tecnologias costumam ser adotadas em conjunto. Sensores, aplicativos, telefones e a Internet trabalham de forma integrada, reforçando--se mutuamente para fornecer informações de produção ao produtor rural. Essa sinergia cria uma situação em que os dados coletados por um dispositivo alimentam os demais, gerando informações mais robustas para planejamento, simulação de cenários e tomada de decisão. Como resultado, cada ferramenta potencializa o valor das outras, entregando eficiência, comodidade e segurança para os produtores rurais com base na integração do conjunto de tecnologias.

4.3.2 Compatibilidade

A compatibilidade, segundo Rogers (2003), mede a convergência entre uma inovação e o arcabouço de valores, experiências e necessidades vigentes no sistema social. Quando essa convergência é alta, o esforço cognitivo necessário para aceitar a novidade diminui, a incerteza associada ao investimento cai e, como consequência, a velocidade média de adoção cresce. Os relatos dos produtores rurais trazem diversas informações sobre como as tecnologias digitais se alinham às suas necessidades, valores e experiências passadas.

Os relatos indicam que tecnologias digitais de *hardware*, como drones e sensores, são incorporadas principalmente por elevarem a velocidade, a continuidade e a padronização das tarefas de campo. Produtores destacam reduções na demanda por pulverizadores manuais e a capacidade de manter operações críticas mesmo em janelas climáticas restritas quando utilizam drones em suas operações. Essas soluções viabilizam a realização de tarefas em diferentes

condições, reduzindo o intervalo e a necessidade de recursos de execução e aumentando a eficiência e a produtividade das lavouras:

“Fazer os tratos culturais assim, os foliar, os defensivos pra lavoura, sempre estar fazendo na hora certa. Não atrasar, o timing assim da lavoura pra não deixar as doenças entrar. [...] Com trator, no dia chuvoso, às vezes, cê não sai do barracão. Com o drone eu consigo ir lá e fazer meu foliar na lavoura tranquilo. Ajuda muito.” (Entrevistado 03).

“Com a tecnologia eu diminuí a perda, né? Com isso eu ganho, falar em dinheiro, eu ganho mais, porque eu tenho menos perdas, mais aproveitamento, me sobra mais, você entendeu? É, isso daí me ajuda muito.” (Entrevistado 09).

“O drone, se eu fosse fazer na mão lá, teria que ter 40 pessoas por pulverizar na mão.” (Entrevistado 08).

Além das soluções de *hardware*, soluções digitais de *software* de registro e análise de custos se alinham às necessidades de controle de custos dos produtores. Ao centralizar esses dados em programas de controle financeiro, é possível identificar oportunidades de redução de despesas e ganhos de eficiência na aplicação. Essas plataformas permitem monitorar o desempenho dos talhões, orientar tratamentos diferenciados conforme o histórico de produtividade e assegurar um fechamento de custos preciso, evitando prejuízos e maximizando o uso dos recursos:

“Então, fazer um balanço melhor, essas anotações, essa previsão, as planilhas, então ajuda a gente diminuir custos, ter eficiência na hora de aplicação, porque exige que a gente faça aferição de todos os equipamentos, pra poder anotar, então gasta menos e economiza, e isso vai ajudando, porque a gente ainda tem que recuperar de dívida da geada, que foi muito grande.” (Entrevistado 02).

“Porque como a gente fica tudo esparramado, aí você não consegue controlar tudo e eu acho que a tecnologia vai ajudar nisso, entendeu? Você controla os teus custos. ‘Ah, mas esse trator aqui gastou mais combustível e fez 10 hectares. Outro fez os mesmos 10 hectares e gastou o dobro’. Entendeu?” (Entrevistado 08).

“Faz a gente saber se está no caminho certo, se aquele talhão tá na hora de renovar, qual talhão que está melhor para você poder melhorar ele ainda mais, não é? Tratar eles de forma diferente, não é? Tem talhão que por n motivos, não adianta você tratar muito bem, porque o histórico de produtividade dele é aquele e qualquer coisa que você faz a mais ali, ele não muda, né? Então eu acho que ajuda na redução de custos, não é? E no aumento da produtividade.” (Entrevistado 11).

“Eu sou desde pequeno bem organizado em anotações, essa é uma (necessidade): o fechamento de custos exato. Porque, vamos supor, se eu tiver

fechando o custo e tiver negativo, se eu errar, principalmente na soja, que é muito apertado agora ,eu tomo prejuízo. Aí eu me lasco, né? [...] (O acompanhamento é) feito na forma digital. Mas assim, Excel da vida, computador e tal pra mim ter as informações como que eu preciso. Tem histórico do que aconteceu comigo: ‘Oh, aquele café lá, aquele talhão teve x de produtividade. Não, ele está ruim. Aquele lá então tem que mudar ele. Uh, esse aqui é muito bom. Então esse aqui, o outro lá está comendo a média desse.’ Então é assim, tem que trabalhar na média, mas observando um ponto diferente.” (Entrevistado 13).

Na dimensão de gestão da produção, as ferramentas digitais reforçam o planejamento ao viabilizar o monitoramento remoto do consumo de insumos e do desempenho das máquinas, permitindo programar a rotina diária e planejar intervenções futuras com base em dados concretos. Esse alinhamento entre o modelo de gestão utilizado e as inovações tecnológicas ilustra a compatibilidade mencionada por Rogers (2003) quando a tecnologia respalda valores de conservação de recursos existentes e melhoria incremental, se integrando às rotinas já existentes dos produtores:

“Se eu entrar aqui agora, eu sei o que que os meus tratores fizeram e como é que está a operação. Não precisa ligar para ninguém, não precisa esperar chegar amanhã, então hoje eu já consigo antecipar e falar assim: ‘ah, eles chegaram até aqui que eu sei, sei que chegaram até aqui. Então amanhã eu já consigo programar minha rotina’. Às vezes, eu não vou conseguir falar com o operador agora de tarde, mas eu, pelo GPS dele, eu sei o que que ele fez tudo, então já consigo programar a rotina de amanhã sabendo o que está feito hoje. Então, tecnologia embarcada que te traz o poder de decisão muito mais rápido, melhor eficiência.” (Entrevistado 10).

“Ajudar a regular melhor as máquinas, para saber a exatidão que eu vou gastar naquele talhão, não é? Calcular uma produtividade melhor, manter esses dados registrados para consulta, né?” (Entrevistado 11).

Os entrevistados destacaram também a necessidade de ter acesso imediato a informações técnicas de campo, pois qualquer atraso ou erro nessas etapas pode comprometer produtividade e elevar custos. Hoje, aplicativos de bula, vídeos tutoriais e buscas online permitem a produtores e equipes solucionar dúvidas e ajustar equipamentos em tempo real, sem depender exclusivamente de consultores externos:

“Assim, o que eu mais uso é ter acesso a bula de produto. São muitos produtos, e aí a dose a gente não consegue decorar tudo. Então, às vezes cê tá lá precisando soltar uma pulverização, e não pode ter erro na dose, né? Pego, já abro a bula ali e já tenho as informações tudo e já consigo resolver ali na hora, né? Às vezes quebra, por exemplo, uma máquina também, às vezes é uma coisa simples, e aí, a gente pega e vê um vídeo, alguma coisa, alguma explicação, a gente faz uma videochamada, aí já resolve também, sem ter que

sair de lá e perder tempo. Isso dá até uma economia pra gente." (Entrevistado 04).

“Busca por informação (sobre) tecnologia digital. Às vezes você tem uma internet ali, que às vezes você não está sabendo montar aquela peça ou regular o implemento, você entra no Google, na hora lá. E aí eu ensinei meus operadores, falei: ‘gente, precisa saber mais nada não, vamos saber pesquisar, como pesquisar e vamos regular a máquina’. Nós num dia lá, quebrando a cabeça, falei assim: ‘não, vamos perguntar para o pai de todos aqui, como é que regula essa máquina?’ Achamos 2 vídeos lá, em 10 minutos nós tava com a máquina regulada. Se não tem internet, eu não tenho conexão, nós ou jogaria errado o produto ou ia quebrar a cabeça e perder um tempão do caramba, só dando um exemplo, pra uma regulagem de uma adubadeira.” (Entrevistado 10).

Inovações alinhadas aos valores existentes dos produtores rurais geram menor incerteza e são incorporadas com mais rapidez, pois o indivíduo não enfrenta o choque de paradigmas nem precisa revisar profundamente sua visão de mundo (Rogers, 2003).

Para muitos produtores rurais, o trabalho no campo não é apenas uma atividade econômica, mas um espaço de interação social e de construção de sentido coletivo. A inovação digital, para ser compatível com esse valor, deve reforçar ou ampliar a capacidade do produtor de se conectar a diferentes públicos, como familiares, colegas de trabalho e consumidores finais:

“Eu gosto de estar no ar livre, assim, eu já trabalhei em empresa só fechado. Eu gosto de estar no campo, eu gosto de estar no dia-a-dia, cada dia num serviço diferente. Assim, do meu ponto de vista, eu valorizo isso. Cada dia eu tô num lugar diferente, conheço pessoas novas, não fico só naquele cômodo fechado na frente do computador. Isso, no meu ponto de vista, eu tô no campo, eu valorizo isso. Sempre estar levando conhecimento, conversando com produtor diferente, cada ideia diferente.” (Entrevistado 03).

“Dou muito valor na agricultura familiar, o produtor que trabalha com a família e que realmente gosta de fazer o que faz, que tem amor ali, junto com a tecnologia, tem os melhores resultados.” (Entrevistado 04).

“Pessoas. Hoje, é a chave fundamental. Adianta nada, não ia conseguir tocar nada se não tivesse ninguém, não tivesse pessoas lá dentro. Eu acho que hoje a gente tem que passar por esse momento de valorização de pessoas. E a gente está melhorando esse trabalho nosso de valorização de pessoas e fazer eles entender esse processo de valorização. [...] Informação, ter acesso a toda a informação, compartilhar essa informação. Essa mudança que nós estamos provocando e fazendo na fazenda, desde o processo de irrigação, dessa parte agrônômica, dos testes, eles estão vendo isso na prática, eles sentiram isso na prática. Então, assim, todas essas mudanças tecnológicas, então hoje nós implantamos, nós vamos fazer, sei lá, fiz uma modificação no meu pulverizador. ‘Mas pra que fazer isso? Por que eles estão dando esse toque de tecnologia ou de inovação?’ E aí você explicar para eles para que aquilo

funciona, a hora que você monta o processo de irrigação, explicar para ele de fato, por que que precisa daquilo ser calibrado, se está funcionando, se é aferido, e aí eles vendo aquilo, por que que é certo fazer. E a hora que vê a produtividade, vê a lavoura, falam: ‘nó, realmente faz sentido. Não estou perdendo tempo com ninguém pra falar assim, ó, ‘preenche papel aí’ ou ‘faz um tanto de coisa boba’”. Não, é de fato trabalhar algo que depois faz todo sentido" (Entrevistado 10).

“O trabalho, o contato com as pessoas é muito interessante. [...] Eu acredito que, principalmente para o consumidor, gera muita transparência, né? Por exemplo, no Fairtrade aí, a cada dia mais a gente registra, anota as atividades que a gente faz no dia a dia, não é? E vai, cada dia isso vai ficando mais transparente para o consumidor: Que que fez naquele talhão, quanto foi plantado, as pessoas que trabalham lá.” (Entrevistado 11).

“É um funcionário, ele tem que sair para trabalhar, ter a casa limpa, ter condição de manter uma casa, uma família, isso me satisfaz. [...] (com as tecnologias digitais) você baixa custos, você consegue sobrar dinheiro, você consegue pagar dentro da média certinha e consegue aumentar pra você ter mais funcionários, não é?" (Entrevistado 13).

Outro lado da conexão humana é o valor atribuído à autonomia profissional. Quando a inovação preserva a capacidade do produtor de manter o controle direto sobre decisões financeiras e agronômicas, ela recompensa a lógica de “trabalhar para si mesmo”. Essa compatibilidade com o valor da independência eleva a aceitação da tecnologia, pois ela amplia a liberdade de atuação:

“Primeiro é eu trabalhar dentro de casa [...] eu tenho ansiedade quando eu tenho que vir pra cidade.” (Entrevistado 01).

“As habilidades de você poder trabalhar, a gente trabalha pra gente mesmo.” (Entrevistado 02).

Outra dimensão de valor é o sentido de prazer e realização pessoal associado ao trabalho no campo. Produtores veem na atividade agrícola não apenas uma profissão, mas um estilo de vida que envolve contato direto com a natureza, variedade de tarefas e autonomia sobre o próprio tempo. A experiência de bem-estar proporcionada pelo trabalho no campo encontra eco na busca por uma lavoura ordenada e harmoniosa, onde cada talhão bem cuidado reflete o orgulho e o cuidado do produtor. Ao representar o cuidado técnico em plantações bem cuidadas, as tecnologias digitais reforçam o vínculo afetivo do agricultor com a terra:

“Primeiro, né, é um prazer trabalhar no campo. Então, e essa tecnologia me dá mais agilidade, mais, vamos falar assim, se eu não tivesse a ajuda destas tecnologias, talvez eu não conseguisse gerenciar a metade do que eu faço hoje se eu tivesse que estar in loco direto, entendeu? Então eu acho que a conexão

dessa tecnologia com o prazer é isso que eu consigo. É gerenciamento melhor, não é?” (Entrevistado 06).

“Ver as coisas organizadas. Planta sadia, não importa o custo que ela deu. Uma vaca, um boi, com bem-estar, com comida sobrando. Uma galinha no terreiro com comida sobrando, entendeu?” (Entrevistado 13).

Nos relatos dos produtores rurais inovadores, destaca-se, de forma recorrente, a ausência de experiências negativas com tecnologias digitais. Quando ocorrem falhas ou reveses, os produtores demonstram que o valor da experimentação está presente no conhecimento obtido com os resultados não-esperados. Essa postura evidencia a resiliência e tolerância ao erro dos produtores, mantendo a abertura para o teste de futuras inovações. Esse ciclo de tentativa, avaliação e, se necessário, descarte, modera o negativismo à inovação e confirma a ligação positiva entre compatibilidade de valores e disposição para adotar de Rogers (2003):

“Não tive problema nenhum com essa parte (tecnologias digitais para a agricultura).” (Entrevistado 02).

“Então, se for uma coisa muito relevante, a gente vai procurar o porquê disso, né? e tentar, se for falha nossa, tentar melhorar. Agora, se não for uma coisa tão relevante, já descarto essa tecnologia e não uso mais. [...] Dá uma sensação ruim, né? Tristeza por ter falhado, porque hoje também, na agricultura, tudo é muito caro, né? Então é muito dinheiro que você perdeu, né? Além do dinheiro, não teve aquela eficiência, o resultado que deveria ter, né? Mas por outro lado, a gente não pode desistir, A gente vai procurar mais conhecimento, mais prática para poder acertar melhor essa questão.” (Entrevistado 11).

4.3.3 Complexidade

Rogers (2003, p. 290) descreveu a complexidade como o grau em que uma tecnologia “é percebida como relativamente difícil de entender e utilizar”. Quanto maior essa percepção, mais lenta, em média, tende a ser a taxa de adoção, sobretudo entre categorias de adotantes conservadoras. A análise dos dados mostra, porém, que a complexidade gera respostas ambíguas dos produtores rurais. Por um lado, a complexidade de novas tecnologias pode gerar curiosidade e trazer sentimento de desafio e satisfação de status tecnológico, por outro, pode causar ansiedade e sensação de inadequação.

Alguns entrevistados relatam que o primeiro contato com soluções digitais avançadas desperta neles grande curiosidade. Essa curiosidade se manifesta em busca de mais informações sobre as inovações, seja em ambientes virtuais ou presenciais. Essa busca de mais informações reproduz as lógicas de experimentação limitada e observação sugeridas por Rogers (2003) como

forma de reduzir a incerteza sobre as tecnologias, transformando a complexidade abstrata em evidências que fazem sentido para o produtor rural:

“Curiosidade! Eu corro atrás de saber como é que funciona e testar em pequena escala, assim, em pouca coisa.” (Entrevistado 01).

“A gente busca o máximo de informação possível, alguém que já tá usando.” (Entrevistado 03).

“Eu, por exemplo, sempre quero estar atualizado e o que eu puder utilizar de tecnologia lá eu vou utilizar, não é? Até por facilidade, para mim mesmo, para você ficar atualizado com as novas coisas que vão acontecendo, Não ficar parado, né?” (Entrevistado 07).

“Sou curioso, muito. O povo costuma falar, até as pessoas que vai comigo fala: "rapaz, vamos no outro ali" eu falo: ‘não, eu vejo um equipamento tecnológico, não é? Eu quero saber: pô, mas daqui é para quê? Isso daqui é para quê? Ah, mas isso daqui faz isso? Mas se acontecer isso, isso daqui faz o quê?’ Eu sou curioso, bastante, gosto de perguntar, gosto de olhar, não é?” (Entrevistado 09).

“Às vezes, desafiado, às vezes, empolgado. "uh, dá para mim usar isso", Eu vejo que é interessante, sinto um grau de empolgação. [...] Eu me sinto desafiado a correr atrás, a buscar informação, descobrir, aquela busca constante de, de buscar a informação. De realmente tentar validar aquele resultado.” (Entrevistado 10).

Passado o impulso inicial de curiosidade e exploração, os inovadores avançam para a avaliação de adequação das inovações às suas realidades. A partir deste momento, a complexidade se torna aceitável quando os requisitos operacionais da tecnologia se alinham com as condições específicas da propriedade e as expectativas do produtor rural. Quando esse encaixe se verifica, a intenção de adoção à inovação aumenta; caso contrário, a complexidade se converte em motivo para recusa à adoção:

“Se possível, ir na área e ver se realmente é aquilo e ver se adequa no manejo da gente, né? Não adianta nada você ter tecnologia e depois você não conseguir usar.” (Entrevistado 04).

“Eu fico ansioso pra ver se o resultado realmente é bom, quero ter resultado logo.” (Entrevistado 05).

“Às vezes, dá até um certo desânimo também. Falo assim: ‘nossa, é tão legal, mas eu tenho certeza que não dá certo eu colocar na fazenda. Eu queria ali isso’. [...] E aí, é a busca constante. Se dá, se é viável, se é aplicável. Às vezes é aplicável, mas não é viável. Então, sempre trabalhar num campo de equilíbrio aí. [...] Faz sentido? É viável? É viável. É aplicável? É aplicável. Então a gente faz todo o trabalho de validação, de tentar validar primeiro, para ver se isso se justifica.” (Entrevistado 10)

“A gente fica muito interessado, né? E aí a gente eu já avalio, por exemplo, assim, se vai dar pra mim aplicar ou não, não é? Porque cada produtor, cada propriedade tem sua particularidade, né?” (Entrevistado 11).

Entretanto, nem todos os produtores conseguem transformar a complexidade em vantagem. Para alguns, ela alimenta um sentimento de pequenez, a impressão de que “essas coisas não são mais para mim”, ou o temor de comprometer conquistas já consolidadas. A inovação passa a ser percebida como um risco inviável, capaz de expor limitações pessoais e financeiras:

“Queria ter nascido hoje (risos), para aproveitar mais essa tecnologia nova. [...] Tem algumas tecnologias, que você se sente, é ... muito pequeno, né? Que eu sei que não é para mim mais, então. Mas têm outras gerações vindo aí, né? Então vão aproveitar melhor isso aí. [...]” (Entrevistado 06).

"Pequeno. Porque [...] a promessa dela é muito grande, né? Então, se ela der, aí metade do que ela promete, a gente fica no chinelo, para trás, né? Mas uma coisa aqui que todo mundo tem que observar é que tudo de mudança é complicado, então você não pode mudar drasticamente. Então, às vezes, você vai mudar pra um programa, para uma inteligência artificial, mas você não está preparado para a mudança lá na frente. Aí quando vê, você cai, entendeu? Aí perde aquele perfil que você fez. Então tem que observar, mudar com o pé no chão e fazer. Às vezes dá certo demais, mas só que um vacilo que faz você perde tudo que você fez para trás.” (Entrevistado 13).

Rogers (2003) apresenta a complexidade como um atributo que, em geral, retardaria a adoção, pois quanto mais uma inovação é difícil de entender e usar, mais lenta a sua difusão. Em contrapartida, Diederer et al. (2003) e Rogers (2003) descrevem produtores rurais como indivíduos audaciosos, com tolerância à incerteza suficientes para absorver falhas e entender e aplicar ideias complexas. Nas falas coletadas, é possível ver os dois cenários: a complexidade estimula a curiosidade, mas também desperta ansiedade e sensação de pequenez, quando a diferença entre as exigências técnicas e as capacidades auto percebidas dos produtores de lidar com as inovações parecem intransponíveis.

Os diferentes relatos revelam que essa capacidade de lidar com a complexidade não é homogênea, pois há diferenças técnicas e pessoais entre os produtores que podem levá-los a ter atitudes diferentes em relação às mesmas inovações. Portanto, além da importância da complexidade das características da inovação na decisão da adoção, a visão que o produtor rural tem das próprias capacidades de interagir com novidades tecnológicas também contribui para aumentar ou diminuir a percepção de complexidade da situação.

4.3.4 Observação

A literatura indica que a visibilidade dos efeitos de uma inovação exerce influência direta sobre a velocidade com que ela se dissemina (Rogers, 2003; Lavoie; Dentzman; Wardropper, 2021). Entre os cafeicultores inovadores entrevistados, a observação de resultados de inovações surgiu, de forma recorrente, como condição necessária à decisão positiva de adotar tecnologias digitais. Porém, este comportamento de espera não implica passividade absoluta. Os entrevistados demonstram, por outro lado, uma atitude investigativa: eles viajam, perguntam a outros produtores e especialistas, comparecem a feiras, pesquisam na internet. A observação, portanto, é construída ativamente.

Os produtores entrevistados enfatizaram a necessidade de enxergar claramente, em números e em campo, os resultados concretos das inovações antes de se comprometerem com investimentos financeiros e operacionais. Para eles, a comprovação prática funciona como um filtro de credibilidade que separa promessas de soluções realmente eficazes:

“Eu sou mais seguro, falo: ‘não, espera daqui uns 2 meses, espera’. Porque toda ação vai ter uma reação, né? Assim, o que foi alterado, vai ter um bug ali. Então a gente sempre espera vir um resultado positivo que a gente fala: ‘não, agora a gente pode fazer’. Aí a gente faz. Aí eu vou confiante depois de ver o resultado, falando que deu certo. (Entrevistado 03).

“Eu gosto muito de já ir atrás de quem já testou para mim ver. Eu acho mais seguro para mim. Então se eu tenho alguma coisa nova que eu quero fazer, como foi o caso dessa irrigação, que eu né, demorei até para colocar, estou colocando agora, é, eu fui visitar muitos (lugares com irrigação), entendeu?” (Entrevistado 06).

“Como bom mineiro, né? Quer ver pra crer, né? Mas isso é uma validação. Acho que isso é a confirmação, vamos falar assim, ‘pode entrar sem erro, sem medo’.” (Entrevistado 10).

Feiras do setor e Dias de Campo funcionam como verdadeiros “laboratórios a céu aberto” para os produtores, ao oferecerem demonstrações práticas e concentradas de novas tecnologias em condições reais de campo. Nesses eventos, o agricultor tem acesso a variadas soluções, podendo conhecer mais sobre elas, reduzindo as incertezas técnicas e econômicas associadas à adoção de inovações:

“Dia de Campo, assim, que você vai, você vê muita coisa. Esse mesmo, esse composto que a gente tem das vacas, foi num Dia de Campo que a gente viu.” (Entrevistado 01)

“A feira Agrishow mesmo, que tem em Ribeirão Preto. Eu gosto de ir, eu gosto de ir no campo, eu gosto de ver os estudos deles. O resultado, né, porque os estudos começam lá atrás. Aí, eles só apresentam o resultado, né? Eu gosto de estar no meio.” (Entrevistado 09).

O tempo gasto pelos produtores rurais na observação de resultados é variado. Esta variabilidade faz sentido, pois enquanto algumas inovações fornecem *feedback* quase imediato, outras exigem acompanhamento prolongado ao longo de ciclos produtivos completos. Também, as diferenças nos critérios e formas de avaliação dos resultados influenciam diretamente o período necessário para reconhecer resultados relevantes:

“Já faz uns 3 anos que eu estou [...] indo atrás dessas tecnologias de irrigação aí, que me despertou mais interesse, já tem uns 3 anos, e agora que eu resolvi.” (Entrevistado 06).

Do lado da cooperativa, a COOMAP procura testar, observar e difundir resultados de inovações. A observação, neste caso, aqui acontece por meio de testes iniciais controlados, análise interdisciplinar e decisão colegiada entre diversos setores. Esta forma de testar e observar inovações coloca a observação como etapa de governança interna à cooperativa, pois, antes da difusão interna, o teste deve produzir resultados mensuráveis e ser analisado por múltiplos atores, reforçando a noção de que a visibilidade dos resultados precisa ser confiável e vista por múltiplos indivíduos para ser validada:

"Então, faz o piloto, analisa, verifica o real impacto daquilo para tomar a decisão, se vai ser implementado ou não. E sempre de maneira colegiada, para ter várias visões, para não ficar na mão de um só. Isso é uma decisão que tem que ser colegiada e multidisciplinar. [...] Os testes são feitos pelo departamento técnico, mas depois a decisão envolve outros setores para poder ter uma visão mais ampla e mais abrangente, para ter outros olhares sobre aquilo e não só o deles." (Entrevistado 12).

Além da visualização dos resultados, a observação também engloba a confirmação da aplicabilidade das tecnologias no contexto dos produtores rurais. Aqui, os resultados observáveis precisam corresponder à realidade da fazenda. Caso contrário, a adoção é postergada:

“Eu perguntei para uns pessoal que presta serviço, que têm muito trator. Aí todos falaram a mesma coisa: "não, o meu que eu uso é pra roubo. Se sair da propriedade na onde que está lá, que eu fiz uma cerca digital, ele vai apitar e vai me mostrar. Mas para isso que você quer, ainda ninguém (faz)". Nunca achei alguém que fala o que que fizesse certinho. Então, o que que eu faço, eu pergunto para os outros. Quem já tem aquela tecnologia, que já está usando.

"Ah, funciona pro que eu quero?", entendeu? Porque às vezes funciona. Por exemplo, nos trator da sociedade minha e deles, às vezes tem um trator que tá em Machado. Olha, interessante ter o GPS, porque se chegar à noite e alguém foi lá e roubar, a gente sabe onde que o trator tá, consegue achar ele. Agora, no caso da sociedade minha ali, que o objetivo era mapear, ver o que que a pessoa fez, o trator fez, aí, eu ainda não pus porque achei que ainda não é preciso o suficiente. Então eu pergunto, pergunto e converso." (Entrevistado 08).

A verificação objetiva dos resultados não esgota o processo de decisão de adoção. Para os produtores, a observação é mais do que um fenômeno somente empírico e racional. Também opera como uma condição relacional: os produtores também observam pessoas, não apenas números. Ou seja, não basta que a inovação apresente resultados observáveis e consistentes. Quem mostra esses resultados e a opinião destas pessoas sobre as inovações analisadas também têm grande relevância para os entrevistados no processo de observação dos resultados:

"Corre atrás dos resultados do terceiro, como é que ficou, né? 'Cê fez?' 'Não, fiz, deu certo, pode fazer'. [...] Sempre tive que ver o resultado de outros, tem pesquisas, o que deu certo, o que a gente tá fazendo também". (Entrevistado 03).

"Eu geralmente eu pergunto pra alguma pessoa se já fez, como que é. Porque, às vezes, a gente mexer sem ter certeza dá um pouquinho de medo, de dar algum problema, de fazer alguma coisa errada, né?" (Entrevistado 05).

"Eu pergunto para alguém que já tem. Se já tem e funciona, a pessoa (diz): 'não, funciona isso aí', Bacana, eu vou lá e uso." (Entrevistado 08).

Uma das grandes referências citadas de validação dos produtores rurais é a própria COOMAP, que tira dúvidas sobre inovações e sugere a adoção de certas tecnologias, conferindo maior segurança e confiança para os produtores rurais no processo de introdução de inovações no campo:

"Como é que eu vou testar, sempre a gente pergunta [...] Sempre tira dúvida, corre na cooperativa, se inteira, fala: "quero fazer isso, cê acha que dá certo?" "ah funciona, eu já vi que que pode fazer". [...] Tem que tirar dúvida, perguntar se pode, se vai funcionar ou se não vai." (Entrevistado 03).

"Até hoje, a única tecnologia que eu tenho lá é irrigação, né? A parte de câmera é mais pra segurança mesmo, para monitorar a propriedade (que foi recomendada pela cooperativa)" (Entrevistado 07).

Na mesma lógica, a qualificação das fontes dos resultados, como especialistas e cientistas, é importante para dar crédito as informações obtidas. Isso mostra que a legitimidade científica não é detalhe, mas uma parte importante do processo de decisão da adoção de

inovações. Um estudo feito por uma instituição reconhecida ou por um pesquisador renomado serve como prova de que a tecnologia já foi testada em campo e de que os números divulgados são confiáveis:

“E aí eu sou muito disso. Ah, você me vem me oferecer uma coisa: ‘Espera aí, quem já testou? Quem validou? Qual instituto? Tá validado por quem? Por qual pesquisador? Me dá resultado prático.’ Porque todo mundo vende coisa boa. Nenhuma empresa vende produto ruim, só que tem produtos e produtos, que funcionam e que não funcionam.” (Entrevistado 10).

Além da cooperativa e dos institutos de pesquisa, também existem produtores que são considerados modelos para a observação de resultados de inovações. Esses são os atores que Rogers (2003) chama de formadores de opinião, que são as pessoas que influenciam outras em razão de seu comportamento inovador:

"(viabilidade é) quando muita gente, pessoas de referência, está usando, para mim poder usar. Dificilmente eu vou ser a primeira cobaia, sabe? Mas nada que impeça que a gente veja, estudar um projeto que possa ir melhorando ele, né? [...] Vou, às vezes, observar melhor para ver se eu vou experimentar depois. Então, é: primeiro olho, observo, vejo quem está dando certo, pra eu fazer. Você vai me trazer uma tecnologia hoje, esse aplicativo, vou falar pra você: ‘Quem que usa?’ ‘Ah, a fazenda tal, fulano de tal.’ Tá, eu vou falar: ‘fulano, o que que é o defeito desse aplicativo?’ ‘Ah, ele podia melhorar isso, assim, assim, assado’. Ah tá, aí eu vejo se eu vou poder, se eu vou pegar ele pra experimentar ou não.”. (Entrevistado 13).

"Até pelos contatos que a gente tem, eu converso com muita gente do setor. É fácil você achar alguma pessoa que usou aquele tipo de tecnologia, e graças a Deus o networking a gente tem bastante. Então você liga: "ó, você fez assim? Fez assado? Foi bom? não foi? Que que achou? que que é ponto positivo, negativo? Qual que é a sua realidade?" Eu sempre gosto de ter uma opinião de fora.” (Entrevistado 14).

Esse padrão de busca por validação externa se conecta com outra dimensão da observação: a de que os próprios entrevistados reconhecerem que também são observados e que, portanto, atuam como formadores de opinião em sua comunidade. Como relataram o Entrevistado 01, sobre a interrupção do uso da biofábrica de fungos e bactérias testada em dois hectares em sua propriedade, o Entrevistado 03, sobre o uso de drones, o Entrevistado 10, sobre a trazer inovações de outra região cafeeira para a sua lavoura, e o Entrevistado 12, sobre a visibilidade dos resultados de testes conduzidos pela cooperativa:

“Tipo assim, a gente foi fazer, como que eu vou te explicar, uma biofábrica. É, fazer os fungos e bactérias que iam combater as doenças do café, a gente

fez 2 hectares. Aí eu achei assim, é uma tecnologia tão boa, tão boa, que a gente parou de fazer. Aí você pode perguntar ‘por que parou de fazer?’ [...] Assim, ou a gente comprava outro pulverizador ou eu deixava o leite, ficava só na fabricação dos produtos, ou a gente parava pra não queimar a tecnologia. Porque se não você faz de qualquer jeito, aí a pessoa fala “eu não uso aqueles bichinho que o povo fala”, porque o povo fala bichinho. ‘Eu não uso aqueles bichinho lá não porque, cê viu como que o café deles tá feio?’ É igual o café orgânico. Foi queimado, né?” (Entrevistado 01).

“Chego na cooperativa, têm muitos curiosos que perguntam: ‘oh, cê trabalha com drone, como que é? Cê gosta?’” (Entrevistado 03).

“A inovação tecnológica que nós trouxemos do Cerrado para cá, o pessoal aqui achava que era besteira utilizar e a hora que nós começamos a implantar isso, nós demos um salto de produtividade sem mexer em nada, praticamente em nada. Só no jeito da gente fazer pulverização, com o mesmo produto, com o mesmo trator, fazendo uma adaptação do equipamento.” (Entrevistado 10).

“Testa primeiro. Validou? É isso mesmo? Tá, beleza, agora vamos disseminar, sempre. Se não pode frustrar. Se tiver uma frustração, é só um piloto, é só no piloto. Isso é importante.” (Entrevistado 12).

A experimentação e a observação aparecem como condições críticas na adoção de tecnologias digitais por pequenos produtores rurais, justamente porque esses atores dispõem de recursos financeiros e operacionais limitados. Nesse sentido, a comprovação prévia por meio da observação de resultados atua como uma atividade indispensável para a adoção de inovações, reduzindo a incerteza e evitando consequências danosas à viabilidade econômica da propriedade (Rogers, 2003).

Também, a rede de contatos emerge como elemento importante para o acontecimento das atividades de observação. A cooperativa, as empresas fornecedoras, os próprios produtores rurais próximos e eventos da área formam uma rede de compartilhamento de informações que se retroalimenta. A cooperativa não aparece apenas como fornecedora de insumos ou serviços, mas também como importante fonte de informações para os produtores rurais. As empresas, por sua vez, ao promoverem dias de campo e demonstrações em feiras, reforçam o alcance das evidências técnicas. Já os produtores rurais estabelecem um circuito de aprendizagem social, buscando validação em seus colegas. Todas essas conexões mostram o papel importante que o sistema social tem na difusão de informações para os membros, mostrando que a difusão de inovações é um processo social (Rogers, 2003).

Por fim, a sobreposição entre atividades de teste e de observação mostra a forte conexão entre os dois atributos no processo de adoção de inovações. Para o produtor que conduz o experimento, trata-se de um teste que avalia a viabilidade da tecnologia. Para o observador externo, o mesmo evento se configura como observação válida para avaliar resultados de acordo

com sua realidade. Essa dualidade mostra que não há observação sem testes, nem testes que não tenham a finalidade de gerar observação. A adoção e a difusão caminham lado a lado, retroalimentando-se em um ciclo virtuoso que sustenta a difusão de inovações digitais na cafeicultura.

4.3.5 Experimentação

Os entrevistados tratam o teste como etapa importante para tomar a decisão de adotar inovações baseadas em tecnologias. A possibilidade de testar uma inovação em escala limitada figura, na literatura, como um redutor crítico de incerteza e, por conseguinte, um acelerador da adoção (Rogers, 2003; Kirungi et al., 2023). Entre os cafeicultores inovadores entrevistados, a experimentação emerge não apenas como etapa pré-adotiva, mas como prática contínua de gestão de risco e aprendizagem:

“Não só tecnologia. Tudo que cê for fazer cê tem que tirar dúvida, perguntar, ver como é que funciona. As coisas não é só "ah, eu quero ter e comprar". Tem os contras, têm as coisas que podem acontecer.” (Entrevistado 03).

“Rapaz, é a verdadeira tomada de decisão, né? Ajuda muito, né, pra você tomar a decisão, se você tiver números, não é? Resultado, resposta, você tem uma assertividade maior e isso te traz uma tranquilidade para a sua tomada de decisão: ‘Ó, vamos fazer isso, isso e isso, né?’” (Entrevistado 09).

“Uai, é muito importante porque você já vê o funcionamento, as características, né? Os possíveis defeitos, os possíveis erros, não é? E os acertos também, não é? Testando ali cê já vê se vai te trazer benefício ou não, se é muito relevante ou não, né?” (Entrevistado 11).

“Aqui nós temos que fazer sempre um piloto primeiro. Por quê? Porque uma coisa é a teoria, a outra coisa é a prática. Testa primeiro. Validou? É isso mesmo? Tá, beleza, agora vamos disseminar.” (Entrevistado 12).

Nessa lógica, a experimentação assume o papel de contenção de custos: investe-se apenas um montante inicial, suficiente para avaliar o desempenho da novidade em pequena escala. Se os resultados se mostram vantajosos, o produtor escala a operação. Caso contrário, ele suspende o projeto, limitando a perda ao valor reservado para a prova da tecnologia. Assim, o teste simultaneamente poupa capital e gera aprendizagem incremental, oferecendo base segura e para decidir sobre a adoção da tecnologia:

“Assim, eu acho importante testar primeiro, nem que seja em pouca escala. Porque tem, principalmente nós na agricultura, tem coisa que é muito cara,

que às vezes ela não te atende como promete, né? Porque às vezes a promessa é maior, então. Lá em casa a gente sempre faz isso. Testa em pequeno, tipo, num hectare de café. Aí testa lá. Meu marido brinca: nós não tem pressa de ficar rico não. Mas testa em um hectare. Aí se deu certo, a gente aumenta. Mas não fazemos tudo de uma vez não, é tudo testado.” (Entrevistado 01).

“Geralmente esse povo anuncia uma tecnologia de irrigação que vem com alguns sensores de umidade de solo, que são caros. Então primeiro cê faz um pedaço, testa. É eficiente? É. Aplica no resto. Mas de imediato no total? Não.” (Entrevistado 02).

“Existe um projeto que a gente usa no café. Esse implemento pra gente comprar ele novo deve ser uns 10 mil reais. Aí eu peguei, li ele assim, e falei: ‘nossa, tem um negócio lá em casa que eu vou conseguir adaptar e vai ficar bem mais barato pra mim.’ Aí eu peguei, com R\$ 1.000,00, eu consegui fazer adaptado e ficou melhor do que o original. Aí já foi um monte de gente lá em casa pedir emprestado, foi uma tecnologia que eu vi aí falei: ‘não, dá pra mim adaptar pra melhor’.” (Entrevistado 05).

“Aí eu já contratei até a empresa que vai instalar pra mim. Ela vai me dar um suporte por um tempo, né? E depois, já está até conversando com um funcionário dele que vai me dar uma assistência para frente. Para poder usar o máximo que puder do equipamento, né? Que não é barato, não é?” (Entrevistado 06).

Os produtores avaliam, também, a viabilidade operacional das inovações, que inclui custos indiretos, redefinição de rotinas e adaptações físicas na propriedade. O piloto pode expor exigências de infraestrutura, logística e suporte técnico, por exemplo, que superam o benefício econômico projetado. Assim, o teste em pequena escala funciona como um ensaio-geral produtivo, permitindo decidir com segurança entre escalar o uso das tecnologias ou encerrá-las ainda no estágio inicial:

“Tipo assim. A gente foi fazer, como que eu vou te explicar, uma biofábrica. É, fazer os fungos e bactérias que iam combater as doenças do café, a gente fez 2 hectares. Aí eu achei assim, é uma tecnologia tão boa, tão boa, que a gente parou de fazer. Aí cê pode perguntar “por que parou de fazer?” Eu falo, porque a gente não tá ainda, para não queimar a tecnologia, que é boa, Como a gente não tá conseguindo fazer do jeito que ela precisa ser feita, a gente parou. Sabe? porque tem que ser tudo muito limpo, muito organizado, tem que ser um laboratório pra dar certo. e eu não consegui ver que eu IA dar conta daquilo. Eu dei conta o ano que eu que eu testei. Só que aí depois, a hora que ia escalar aí eu falei, ‘não, vai dar não. Então vamo parar. Porque tinha que ter um pulverizador só pra esse fim. Vou ficar lavando pulverizador muito. Porque como é que você pega lá um [inaudível] velho, sensível, E joga num pulverizador que acabou de usar fungicida? Até chegar na lavoura, já morreu.” (Entrevistado 01).

“Eu fiz uma aplicação só de teste, gostei demais, minha intenção é parar os atomizadores, pulverizador, fazer só a cortadura. Ou cê deixa esse pedaço sem fazer ou cê tem que fazer a cortadura, fazer um ajuste na utilização. Então,

isso aí eu acho que também não muda não, sabe? Ou a gente adapta o campo pro drone, porque o drone não vai adaptar nessas áreas cheias de árvore, entendeu? Tem que mudar, aí isso aí é um processo também que leva um tempo, mas a gente vai melhorando. Porque esse ano, por exemplo, eu não preparei, eu comprei o drone na Agrishow em maio, mas eles me entregaram em dezembro. Então, é isso que eu falo: a turma da tecnologia não sabe da realidade da roça. Tem muito que melhorar.” (Entrevistado 04)

"Tipo drone também para a soja e pro café. Eu sei que está dando certo, mas ainda faltam uns detalhes. Então eu penso que 1, 2 anos ainda vai. Ainda tem (coisas) para melhorar ainda, então vamos esperar." (Entrevistado 13).

Também é primordial que as tecnologias se ajustem às características específicas da propriedade, como altitude, microclima, relevo e variedade cultivada em cada propriedade. Se esse alinhamento não acontece, preferem não adotar a inovação. Ainda que testemunhem resultados positivos em outras localidades, a confiança efetiva nas inovações emerge somente quando elas demonstram desempenho satisfatório nas suas lavouras:

"Não é sempre testar no nosso, porque, ainda mais café. É a variedade, é o microclima, é o jeito que o sol bate, muita coisa que interfere. Então, às vezes, uma coisa que dá certo lá em Varginha, aí pra nós já não dá. Depende de precipitação, é muita coisa que interfere. Na roça, tem que testar, não tem jeito." (Entrevistado 01).

"Com certeza. Pra gente ver o resultado disso aí, né? Para ver se realmente aquilo encaixa no perfil da gente, às vezes uma tecnologia é boa para um mas não é boa para outra pessoa." (Entrevistado 08).

“Mas a gente é assim, tem que ver a viabilidade, custo, ver se aquilo encaixa, principalmente. Aí é a hora que eu falo, se encaixa na realidade da fazenda. Às vezes tem uma tecnologia muito bacana, mas não encaixa na realidade. [...] Porque, igual o que eu estava dizendo, às vezes tem produto que para Lavras funciona, na minha região não funciona, por conta da altitude, do relevo, do microclima. Então, se eu tenho a possibilidade de testar dentro da minha propriedade aqueles produtos, por que não testar?” (Entrevistado 10).

“Eu sempre gosto de ter uma opinião de fora, por exemplo. [...] Eu comecei a plantar Arara (variedade de café) há pouco tempo. E eu mesmo, como agrônomo, vi inúmeras lavouras dessa variedade muito boas, mas para isso, eu conversei com milhões de pessoas, entendeu? Para ver se cabe, se não cabe, como é que foi o espaçamento. E, mesmo assim, ao invés de eu plantar uma área maior, eu plantei um hectare só. Então falei assim ó: "se der zebra, tá num hectare". [...] Foi bom para todo mundo, mas às vezes na minha realidade não dá certo, né?" (Entrevistado 14).

Se, por um lado, a adequação local exige ensaios internos, por outro, o risco e a aprendizagem dos testes podem ser compartilhados em redes de confiança que incluem vizinhos, amigos e, sobretudo, a cooperativa. Lavoie, Dentzman e Wardropper (2021) apontam

que produtores reduzem incertezas ao observar pares em condições semelhantes e os relatos confirmam esse mecanismo. Testes em plantações de vizinhos, supervisionados pela equipe técnica da cooperativa, funcionam como laboratório coletivo: dividem custos, geram evidências em diferentes condições e filtram rapidamente as inovações viáveis para o grupo:

"Agora mesmo nós estamos atrás, né? Procurando ver uns produtos de pré-emergente, não é por causa de capim, de café novo, é? São produtos que ajudam um lado, prejudicam outros. Até essa semana tá fazendo um teste na propriedade dum amigo meu lá, dum produto lá que a gente fica com medo de aplicar e prejudicar a plantinha nova, não é? Aí o técnico da cooperativa que me assiste está fazendo um teste numa plantação de um colega lá que se dispôs a deixar fazer. Um produto lá é conhecido, famoso, mas a gente tem que ver pra crer, né? Fica com medo, né? Apesar de ter alguns agrônomos que recomendam sem medo e outros com restrição. Então vamos fazer o nosso teste, nesse caso, desse produto." (Entrevistado 06).

Alguns produtores ainda estabelecem parcerias formais com empresas para converterem suas fazendas em verdadeiros laboratórios experimentais. Nesse modelo, a propriedade se torna um campo de provas de insumos, equipamentos e sistemas de manejo, com suporte técnico dedicado para coleta de dados precisos:

"Nenhuma empresa vende produto ruim, só que tem produtos e produtos, que funcionam e que não funcionam. E a gente partiu para fazer esse tipo de trabalho de teste. E a nossa propriedade hoje é uma propriedade que faz teste. Nós temos 12 empresas que faz teste dentro da propriedade. [...] Hoje, então, tem a empresa pesquisadora que trabalha junto com a gente, paralelo a gente lá, e aí, eles que operam todos esses dados, compilam tudo isso daí e, depois, falam assim: 'ó, esse produto é bacana, mas não é bacana pra usar'. Tipo, ele me dá orientação para mim reduzido: quanto cresceu, quanto não cresceu, o que teve de doença [...] e tal. Tipo, se eu pedir detalhamento, eles me dão." (Entrevistado 10).

"Então, assim, já é um sonho já, que, na verdade, o rapaz está tentando por isso, essas informações (de sensores remotos), na colheitadeira de café. Até a primeira que ele usou foi na minha, mas aí não deu muito certo e ele já mudou todo o programa, não é? Então já ficou obsoleto. Então assim, coisa de dois anos para cá já mudou muita coisa, né? [...] Porque na verdade, ele põe por conta. Se der certo, eu pagaria para ele, mas não deu. Às vezes ele nem busca o aparelho, eu tiro e jogo aquilo fora, porque muda muito rápido." (Entrevistado 13).

Quando os resultados dos testes são insatisfatórios, os produtores rurais não encaram como um fracasso, mas como aprendizado. Quando perguntados se já tiveram experiências ruins com tecnologias digitais, todos responderam que não haviam tido nenhuma experiência negativa com essas inovações. Mesmo os que relataram falhas nos testes, disseram que a

experiência não foi negativa, porque aprenderam com os resultados e, também, porque isso faz parte da atividade de inovar na agricultura:

“Avaliar, rever. Assumir sua parcela de culpa. Deu errado? Deu errado, pronto. Volta, refaz. Quem inova, quem testa muito, erra mais do que quem fica parado. Mas você acerta mais, você sai na frente. Então você não pode ter medo de errar. Só que erra pequeno, depois você escala. Nós testamos essa tecnologia da certificação por três meses. Não funcionou? Só três meses perdidos de serviço, joga fora, vamos voltar no papel. Então é assim, mais ou menos assim.” (Entrevistado 10).

“Porque hoje eu saio das minhas coisas, eu vou procurar o erro. O que eu acerto, eu não preciso procurar. Então, assim, as coisas andam dando certo porque eu vou nos erros. Eu vejo uma coisa errada, eu tenho que melhorar aquilo. Aí, que que acontece, a hora que eu melho aquela, aparece outra coisa errada que eu não estava enxergando.” (Entrevistado 13).

Embora a experimentação seja amplamente valorizada, identificam-se situações em que os produtores podem adotar inovações sem validá-las previamente em suas propriedades: em casos de necessidade emergencial, como geadas, e quando as tecnologias avaliadas são amplamente utilizadas pelos pares. Contudo, nenhuma dessas adoções ocorre sem que haja, antes, observação de resultados. Esta é condição imprescindível para que os produtores avancem na adoção de uma inovação:

"Ainda não (testei), vou esperar instalar pra mim, né? Aí eu já contratei até a empresa que vai instalar pra mim. Ela vai me dar um suporte por um tempo, né? E depois, já está até conversando com um funcionário dele que vai me dar uma assistência para frente, pra poder usar o máximo que puder do equipamento, né? Que não é barato, não é? [...] No equipamento que eu comprei já está essa tecnologia embarcada toda já contemplada no orçamento, no meu projeto. Então aí, agora que vai começar a aprender, né? [...] É um fator importante, apesar de eu desconhecer, mas é um fator importante. Veja bem, você consegue pelo que me explicaram, eu consigo, é, botar para funcionar pelo meu celular daqui da cidade. Eu consigo, é, acompanhar o tempo, em tempo real, a quantidade de água está sendo aplicada, o tempo necessário que precisa é então, promessas tiveram, que está lá no pacote lá que eu fiz lá, mas acredito que são pessoas sérias.” (Entrevistado 06).

“Eu tinha visto o modelo de irrigação, mas eu comprei a irrigação, a parte tecnológica dela, foi no escuro. Foi acreditar no vendedor, no trabalho, eu fiz uma pesquisa na internet, vi que aquilo realmente fazia sentido, tinha resultado e aí eu falei: ‘não, então vamos embora. Eu quero ir embora nessa tecnologia, vamos embora’. E aí, a gente implantou ela sem eu ver. Foi uma tecnologia que eu comprei sem ver, sem ver de fato a parte tecnológica da irrigação. [...] Foi legal, porque poderia ser frustrante e já estava feito, beleza. Mas a hora que eu vi que realmente dava certo, fazia todo sentido, foi muito gratificante. Tipo, foi um risco que a gente correu, mas deu certo.” (Entrevistado 10).

“Nossa, eu entro de cara pra trás. Igual quando me apresentaram a aplicação de fertilizante líquido. Que a gente vê toda a parte, vamos dizer assim, satisfatória, cê usa ela enquanto vê resultado em outras áreas, aí eu não faço teste não.” (Entrevistado 04).

A ênfase na experimentação em pequena escala praticada pelos cafeicultores entrevistados encontra respaldo na definição de Rogers (2003), que diz que testar uma inovação em base limitada reduz significativamente a incerteza e oferece ao adotante a oportunidade de compreender como a novidade se comporta em seu próprio contexto. Kirungi et al. (2023) reforçam esse ponto ao demonstrar que tecnologias agrícolas inteligentes com possibilidade de teste têm maior probabilidade de adoção entre inovadores, justamente por mitigar riscos antes de comprometer grande volume de recursos.

Foi possível perceber, pelos relatos, que experimentos em propriedades semelhantes podem ser considerados tão válidos como um piloto próprio. Quando as condições de uso específicas citadas, como relevo, microclima ou escala de produção, são bastante parecidas com as características do local de observação, os resultados observados podem ser considerados como tão válidos quanto os resultados de um teste próprio. Esse apoio na observação dos resultados de vizinhos para estimular a adoção de inovações é parecido com o descrito por Warner et al. (2021), sobre adoção de práticas de fertilização de quintal.

Além dos testes em condições muito parecidas com as dos produtores, há outras situações em que os produtores podem adotar inovações sem validá-las previamente em suas propriedades. Elas podem acontecer em casos de necessidade emergencial, como geadas severas ou quando tecnologias têm ampla utilização em sua rede de contatos. Contudo, nenhuma dessas adoções ocorre sem que haja, antes, observação de resultados, condição imprescindível para que os produtores avancem na adoção de uma inovação.

Quando um teste falha em entregar os ganhos esperados, os produtores não consideram o episódio um fracasso inútil, mas sim uma etapa natural do processo de inovação. Essa postura de aprendizado com o fracasso ecoa a proposta de Rogers (2003) de que os inovadores são tolerantes a falhas, assumem riscos calculados e aprendem com o processo de teste. Na prática, o piloto deixa de ser apenas uma verificação de viabilidade da inovação, mas se torna também uma forma de obter novos conhecimentos.

O quadro a seguir apresenta uma síntese dos principais achados empíricos da pesquisa à luz desse referencial teórico, permitindo visualizar como cada dimensão foi evidenciada nas falas dos entrevistados e como ela contribui para o processo de inovação nas propriedades:

Quadro 4.5 - Atributos percebidos de inovação de acordo com as respostas dos entrevistados.

Atributo	Descrição do atributo, segundo Rogers (2003)	Descrição dos atributos, segundo os produtores entrevistados
Vantagem Relativa	Grau em que a inovação é percebida como melhor que a prática anterior.	Para os Produtores rurais, são vantagens a percepção de aumento da eficiência, de comodidade, de segurança e de confiabilidade.
Compatibilidade	Grau de aderência da inovação aos valores, experiências e necessidades do adotante.	Tecnologias adotadas alinhadas às necessidades de aumento de eficiência, controle de custos e acesso à informação. Para os produtores rurais, o trabalho no campo não é apenas uma atividade econômica, mas um espaço de interação social e de construção de sentido coletivo que traz prazer, realização e autonomia profissional.
Complexidade	Grau de dificuldade percebida para compreender e utilizar a inovação.	A complexidade pode gerar curiosidade, que evolui para a avaliação de adequação das inovações às suas realidades. Porém, para alguns produtores, a complexidade alimenta um sentimento de pequenez ou o temor de comprometer conquistas já consolidadas.
Experimentação	Possibilidade de testar a inovação antes da adoção plena.	Os produtores tratam o teste como etapa importante para tomar a decisão de adotar inovações baseadas em tecnologias. A experimentação emerge não apenas como etapa pré-adotiva, mas como prática contínua de gestão de risco e aprendizagem.
Observação	Grau em que os resultados da inovação são visíveis.	Os produtores entrevistados enfatizaram a necessidade primordial de enxergar os resultados concretos das inovações, em contextos iguais ou parecidos com sua realidade, antes de se comprometerem com investimentos financeiros e operacionais. Além da visualização dos resultados, a observação também engloba a validação das fontes das informações obtidas.

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo caracterizar os atributos percebidos de inovação por produtores rurais inovadores da Cooperativa Mista Agropecuária de Paraguaçu (COOMAP), à luz da Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (2003). Para tanto, foi realizada uma revisão de literatura sistemática e foram realizadas entrevistas semiestruturadas com quatorze cafeicultores selecionados pela equipe técnica da cooperativa, cuja amostra foi descrita em detalhe na seção de caracterização dos entrevistados, revelando perfil predominante masculino, idade média de 43 anos, altos níveis de escolaridade e renda familiar superior a cinco salários-mínimos, além de diversificação de fontes de renda e regimes de posse da terra.

A revisão bibliométrica mapeou 289 artigos sobre adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura publicados em 174 periódicos entre 1992 e 2024, com média de 21 citações por trabalho e 3,79 coautores, indicando alto grau de colaboração internacional. O crescimento de publicações tornou-se expressivo após 2010 e acelerou-se a partir de 2020, refletindo o impulso conferido pela pandemia de Covid-19 à digitalização do setor. China, Índia, Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha concentram quase 40 % da produção, enquanto “Agriculture”, “Sustainability” e “Precision Agriculture” lideram em volume de artigos. Os estudos destacam a Teoria da Difusão de Inovações e modelos de aceitação de tecnologia como marcos conceituais recorrentes, e apontam lacunas relacionadas a variáveis contextuais, métodos comparativos e análise por perfis de adotantes, delineando uma agenda robusta para futuras pesquisas.

Os resultados empíricos evidenciam que os cinco atributos percebidos de inovação de Rogers (2003) se manifestam no processo de adoção de tecnologias digitais dos indivíduos entrevistados. As vantagens relativas englobam ganhos econômicos diretos, como redução de custos e economia de insumos, bem como benefícios intangíveis de comodidade, acesso à informação e segurança operacional. A compatibilidade foi encontrada na convergência entre as inovações e as características específicas das fazendas e valores dos produtores, reduzindo o esforço cognitivo e o risco percebido. A complexidade despertou curiosidade e motivou busca ativa de informações dos produtores, mas também gerou ansiedade quando os requisitos técnicos se mostraram distantes das capacidades autopercebidas de lidar com as tecnologias digitais. Experimentação e observação apareceram como condições muito importantes para a adoção de tecnologias digitais, em que testes em pequena escala e participação em feiras e dias de campo funcionam como filtros de credibilidade antes de comprometer investimentos de maior volume. Aqui, se a observação traz confiança suficiente para os inovadores de que os

resultados são replicáveis em suas propriedades, eles podem assumir o risco de pular a etapa de testes.

O padrão de adoção observado segue a lógica hierárquica de complexidade tecnológica: recursos de baixa complexidade apresentam difusão quase universal entre os inovadores, soluções de média complexidade alcançam adoção restrita a grupos específicos, e inovações de alta complexidade permanecem em estágio embrionário no cotidiano produtivo. Esse escalonamento confirma a proposição de Rogers (2003) de que sujeitos internalizam primeiro ferramentas que demandam menor capital cognitivo e financeiro, criando base para adoção de tecnologias mais avançadas.

Nesse estudo, observa-se que, embora os produtores considerados inovadores adotem tecnologias digitais de forma bastante cautelosa, com predominância de tecnologias digitais de baixa complexidade, eles ainda representam o segmento mais próximo ao perfil idealizado com base em Rogers (2003) e Diederer et al. (2003) dentro do sistema social analisado. Caso ampliemos o grupo ou alteremos o contexto de referência, outras variáveis passarão a influenciar a taxa de adoção de tecnologias digitais para a agricultura e esses mesmos indivíduos poderão ser reclassificados em diferentes categorias de adotantes. Assim, o conceito de produtor rural inovador não deve ser entendido como a mera aplicação de todas as tecnologias disponíveis e a apresentação de todas as características possíveis do comportamento inovador, mas sim como a identificação, em um ambiente delimitado, daqueles atores que apresentam maior afinidade com estes ideais teóricos. Dessa forma, reforça-se a importância de considerar o recorte social e cultural na avaliação dos perfis de adoção tecnológica.

Em termos de avanço teórico, esta pesquisa oferece três contribuições centrais. Primeiro, promove o aprofundamento qualitativo da Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (2003) ao demonstrar, no contexto das tecnologias digitais na cafeicultura, como os cinco atributos percebidos de inovação de Rogers (2003) se manifestam de modo mais amplo e detalhado do que em estudos quantitativos. Segundo, inova ao centrar-se exclusivamente em produtores identificados como inovadores, permitindo mapear de forma aprofundada motivações, atitudes e rotinas desses agentes de mudança sem a diluição típica de comparações entre adotantes e não-adotantes. Terceiro, apresenta uma forma alternativa para identificar indivíduos inovadores em um sistema social agrícola, com critérios de seleção que podem orientar pesquisadores em estudos futuros. Esses aportes reforçam e estendem o arcabouço teórico de Rogers (2003) e de Diederer et al. (2003), integrando dimensões metodológicas e qualitativas que enriquecem a compreensão da difusão de inovações digitais no campo.

Embora tenha sido formulada em um contexto anterior à digitalização e à globalização das comunicações, a Teoria da Difusão de Inovações (Rogers, 2003) continua sendo uma base sólida para compreender os processos de adoção de novas tecnologias. Isso porque seu foco está nos fatores sociais, culturais e perceptivos que orientam a decisão de adoção por parte dos indivíduos, elementos que permanecem centrais, mesmo com a evolução dos meios de comunicação.

A ampliação do acesso à informação e a redução das distâncias físicas e temporais entre os atores sociais, promovidas pelas tecnologias digitais, não eliminam esses atributos, apenas modificam o contexto em que são percebidos. Assim, a teoria se mantém aplicável, pois trata de mecanismos cognitivos e relacionais que continuam válidos para interpretar a dinâmica da inovação, inclusive no meio rural. Em vez de exigir uma reformulação do modelo, o cenário digital atual reforça sua utilidade para analisar como os indivíduos constroem significados sobre uma inovação e decidem, ou não, adotá-la.

Na esfera prática, os resultados indicam que cooperativas e órgãos extensionistas devem priorizar estratégias de divulgação de informações e demonstração prática e governança colaborativa de testes, permitindo a construção ativa de observação social de resultados. Programas de capacitação em alfabetização digital podem mitigar a ansiedade gerada pela complexidade e a segmentação de ações de comunicação segundo níveis de escolaridade, experiência tecnológica e perfil de mercado ampliará a assertividade das iniciativas de difusão.

As empresas fornecedoras de tecnologias digitais devem desenvolver soluções modulares e escaláveis, que permitam aos produtores iniciarem pela adoção de funcionalidades básicas e expandirem gradualmente o uso à medida que ganham confiança e habilidade técnica. Além disso, é fundamental estabelecer programas de demonstração e pilotos colaborativos em parceria com cooperativas e produtores que são referência nos grupos, garantindo suporte técnico contínuo e incorporando *feedback* em tempo real para aprimorar o produto. Também, essas empresas devem ampliar a circulação de informações sobre funcionalidades, vantagens e melhores práticas de uso em múltiplos canais e oferecer treinamento contínuo e suporte pós-venda, para reduzir a ansiedade frente à complexidade das soluções e fortalecer a percepção de segurança no uso.

Já as universidades e instituições de pesquisa podem incorporar estudos de caso reais em disciplinas de extensão e inovação agrícola, aproximando estudantes e pesquisadores das necessidades operacionais dos produtores. Também, é necessário desenvolver e difundir material didático e prático sobre tecnologias digitais, adaptado aos diferentes níveis de escolaridade e experiência tecnológica, para sensibilizar os produtores rurais a estas inovações.

Por fim, é importante promover eventos de caráter técnico-científico, como treinamentos, jornadas de inovação e *hackathons* agro, que integrem produtores, empresas e estudantes, fortalecendo redes de confiança e acelerando os testes de novas tecnologias e a observação de resultados. Projetos como o UFLA Pelo Comércio Justo podem fazer com que essas ações se integrem à rotina de associações de produtores rurais de forma alinhada aos seus objetivos, aumentando a compatibilidade das informações à realidade destes fazendeiros.

Recomenda-se também, aos produtores rurais, que se engajem ativamente em redes de troca de informações e planejem pilotos em pequena escala, em parceria com outros produtores ou as organizações das quais fazem parte. É muito importante que os resultados destes testes sejam documentados e disseminados para os seus pares, para enriquecer a base de evidências coletivas e consolidar a confiança no processo de adoção de novas tecnologias. Também é importante que estes indivíduos invistam em capacitação contínua, dedicando tempo regular à busca de informações e capacitações sobre tecnologias digitais e inovações.

Para impulsionar a adoção de tecnologias digitais no campo, especialmente entre produtores inovadores, é de interesse que as políticas públicas priorizem a ampliação da conectividade rural, já que a limitação de internet ainda dificulta o uso de soluções tecnológicas. Também é válido que elas estimulem programas de capacitação técnica e alfabetização digital, ajudando a reduzir a resistência frente a tecnologias mais complexas. Incentivos fiscais e linhas de crédito acessíveis tendem a facilitar o investimento em inovação, especialmente quando se trata de soluções de maior custo inicial. Além disso, um ambiente regulatório claro e seguro sobre o uso de dados pode aumentar a confiança no uso de ferramentas digitais, como o *blockchain*.

Entre as limitações, destaca-se o recorte qualitativo e amostral restrito a catorze produtores de uma única cooperativa, sem grupo de comparação com não-inovadores, o que impede inferências causais e generalizações amplas. Também, não foram coletados dados para aferir variáveis contextuais que afetam a taxa de adoção de inovações descritas por Rogers (2003), como a natureza do sistema social, o tipo de decisão de inovação e os esforços de promoção dos agentes de mudança, restringindo a avaliação aos atributos percebidos de inovação, que são fatores individuais que afetam a taxa de adoção de inovações.

Propõe-se que próximos estudos abordem os atributos percebidos de inovação em outras organizações certificadas pelo Fairtrade, para comparar as semelhanças e diferenças entre as visões dos produtores rurais inovadores das diferentes associações, bem como propõe-se a comparação entre inovadores destas organizações e inovadores de cooperativas e associações que não participem do movimento Comércio Justo. Especificamente, recomenda-se estudar

atributos percebidos de inovação específicos em profundidade, como a observação e a experimentação, para entender estes processos em maior nível de detalhamento. Propõe-se que pesquisas futuras também incluam produtores de outros grupos de adotantes, como maioria tardia e retardatários, para testar diferenças nos atributos percebidos de inovação entre os diferentes tipos de indivíduos presentes no sistema social. Também, estudos longitudinais seriam valiosos para mapear a evolução das percepções ao longo do tempo e relacioná-las a indicadores de desempenho produtivo. Por fim, investigações em outras regiões, culturas agrícolas e escalas de produção poderão verificar a robustez dos achados e explorar fatores contextuais adicionais.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, E. A.; YARBROUGH, J. P. Inequalities in the information age: Farmers' differential adoption and use of four information technologies. **Agriculture and human values**, v. 9, p. 67-79, 1992.

ADNAN, N. et al. A state-of-the-art review on facilitating sustainable agriculture through green fertilizer technology adoption: Assessing farmers behavior. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p. 439-452, 2019.

ADRIAN, A. M.; DILLARD, C.; MASK, P. **GIS in agriculture**. In: Geographic information systems in business. Igi Global, 2005. p. 324-342.

ADRIAN, A. M.; NORWOOD, S. H.; MASK, P. L. Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. **Computers and electronics in agriculture**, v. 48, n. 3, p. 256-271, 2005.

AJZEN, I. The theory of planned behavior. **Organizational behavior and human decision processes**, v. 50, n. 2, p. 179-211, 1991.

AKELLA, G. K. et al. A systematic review of blockchain technology adoption barriers and enablers for smart and sustainable agriculture. **Big Data and Cognitive Computing**, v. 7, n. 2, p. 86, 2023.

AKUDUGU, M. A. et al. Technology adoption behaviors of farmers during crises: What are the key factors to consider?. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, p. 100694, 2023.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

ASSAD, L.; PANCETTI, A. A silenciosa revolução das TICs na agricultura. **ComCiência**, n. 110, p. 0-0, 2009.

ATWELL, R. C.; SCHULTE, L. A.; WESTPHAL, L. M. Linking resilience theory and diffusion of innovations theory to understand the potential for perennials in the US Corn Belt. **Ecology and Society**, v. 14, n. 1, 2009.

AUBERT, B. A.; SCHROEDER, A.; GRIMAUDO, J. IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. **Decision support systems**, v. 54, n. 1, p. 510-520, 2012.

BALTAR, F.; BRUNET, I. Social research 2.0: virtual snowball sampling method using Facebook. **Internet Research**, v. 22, n. 1, p. 57-74, 2012.

BARNES, A. P. et al. Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. **Land use policy**, v. 80, p. 163-174, 2019.

BASTOS, M. H. R. et al. Análise de discurso e Análise de Conteúdo: Um levantamento de suas aplicações nas ciências aplicadas membros da Administração. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 26302-26322, 2019.

BECKER, L. 2023. **A reserva da agricultura global**. Disponível em: <<https://exame.com/revista-exame/a-reserva-da-agricultura-global/>>. Acesso em: 13 mai. 2024.

BIERNACKI, P.; WALDORF, D. Snowball sampling: Problems and techniques of chain referral sampling. **Sociological methods & research**, v. 10, n. 2, p. 141-163, 1981.

BOLFE, E. L.; MASSRUHÁ, S. M. F. S. A transformação digital e a sustentabilidade agrícola. **Agroanalysis**, v. 40, n. 3, p. 32-34, 2020.

BOLFE, E. L. et al. **Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil**. 2020a. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S. et al.. (2020). Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Embrapa Informática Agropecuária - Livro científico (ALICE).

BOLFE, E. L. et al. Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. **Agriculture**, v. 10, n. 12, p. 653, 2020b.

CARRER, M. J. et al. Precision agriculture adoption and technical efficiency: An analysis of sugarcane farms in Brazil. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 177, p. 121510, 2022.

CHAIN, C. P. et al. Bibliometric analysis of the quantitative methods applied to the measurement of industrial clusters. **Journal of Economic Surveys**, v. 33, n. 1, p. 60-84, 2019.

CHEN, Y.; LI, Y.; LI, C. Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application. **Journal of cleaner production**, v. 268, p. 122071, 2020.

CRUCIOL, M. **Embrapa e Fapesp lançam projeto em agricultura digital focado em pequenos e médios produtores rurais**. 2023. Acesso em: 28 abr. 2024. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/79591392/embrapa-e-fapesp-lancam-projeto-em-agricultura-digital-focado-em-pequenos-e-medios-produtores-rurais.>>.

COOMAP. A COOMAP. 2025. Disponível em: <<https://coomap.com.br/pt/a-coomap/>>. Acesso em: 16 mai. 2025.

DABERKOW, S. G.; MCBRIDE, W. D. Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. **Precision agriculture**, v. 4, p. 163-177, 2003.

DAN, V.; OSTERHEIDER, A.; RAUPP, J. The diffusion of innovations in agricultural circles: An explorative study on alternative antimicrobial agents. **Science Communication**, v. 41, n. 1, p. 3-37, 2019.

DAVIS, Fred. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. **Management Information Systems Quarterly**, v. 13, n. 3, p. 6, 1989.

DAOUDA, O.; BRYANT, C. R. Analysis of power relations among actors and institutions in the process of agricultural adaptation to climate change and variability from the diffusion of innovations perspective. **Agricultural Adaptation to Climate Change**, p. 27-51, 2016.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Ed.). **The Sage handbook of qualitative research**. sage, 4ed, 2018.

DIAS, G. P. Determinants of e-government implementation at the local level: an empirical model. **Online Information Review**, v. 44, n. 7, p. 1307-1326, 2020.

DIEDEREN, P. et al. Innovation adoption in agriculture: innovators, early adopters and laggards. **Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales**, v. 67, p. 29-50, 2003.

DILLEEN, G. et al. Investigating knowledge dissemination and social media use in the farming network to build trust in smart farming technology adoption. **Journal of Business & Industrial Marketing**, v. 38, n. 8, p. 1754-1765, 2023.

DIXIT, K.; AASHISH, K.; KUMAR DWIVEDI, A. Antecedents of smart farming adoption to mitigate the digital divide—extended innovation diffusion model. **Technology in Society**, v. 75, p. 102348, 2023.

DO PRADO, J. W. et al.. Multivariate analysis of credit risk and bankruptcy research data: a bibliometric study involving different knowledge fields (1968---2014). **Scientometrics**, 106(3), 1007-1029, 2016.

D'OLIVEIRA, M. V. N. et al. Aboveground biomass estimation in Amazonian tropical forests: A comparison of aircraft-and gatereye UAV-borne LIDAR data in the Chico Mendes extractive reserve in Acre, Brazil. **Remote Sensing**, v. 12, n. 11, p. 1754, 2020.

FAIRTRADE. **Standards for small-scale producers**. Disponível em: <<https://www.fairtrade.net/us-en.html>>. Acesso em 09 mai. 2025.

FU, S.; HUANG, Y. Exploring farmers' perceptions of the technological characteristics of traceability systems. **Agricultural Systems**, v. 215, p. 103871, 2024.

GAO, Y. et al. Promotion methods, social learning and environmentally friendly agricultural technology diffusion: A dynamic perspective. **Ecological Indicators**, v. 154, p. 110724, 2023.

GARCÍA-AVILÉS, J. A. Diffusion of innovation. The international **Encyclopedia Of Media Psychology**, p. 1-8, 2020.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRIFFIN, T. W.; LOWENBERG-DEBOER, J. Worldwide adoption and profitability of precision agriculture Implications for Brazil. **Revista de Política Agrícola**, v. 14, n. 4, p. 20-37, 2005.

GUNTHER, H. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 22, p. 201-209, 2006.

HAMDAQA, M.; TAHVILDARI, L. Cloud computing uncovered: a research landscape. **Advances in computers**, v. 86, p. 41-85, 2012.

HARMANCIOGLU, N.; DROGE, C.; CALANTONE, R. J. Theoretical lenses and domain definitions in innovation research. **European Journal of Marketing**, v. 43, n. 1/2, p. 229-263, 2009.

JIN, Q. et al. Exploring Influence of Communication Campaigns in Promoting Regenerative Farming Through Diminishing Farmers' Resistance to Innovation: An Innovation Resistance Theory Perspective From Global South. **Frontiers in Psychology**, v. 13, p. 924896, 2022.

KARBO, R. T. et al. A systematic review of the efficacy of theories used to understand farmers' technology adoption behavior in lower-to-middle-income countries. **Development Studies Research**, v. 11, n. 1, p. 2294696, 2024.

KAYAD, A. et al. Latest advances in sensor applications in agriculture. **Agriculture**, v. 10, n. 8, p. 362, 2020.

KHANNA, A.; KAUR, S. An empirical analysis on adoption of precision agricultural techniques among farmers of Punjab for efficient land administration. **Land Use Policy**, v. 126, p. 106533, 2023.

KIRUNGI, D. et al. Entrepreneurial and attitudinal determinants for adoption of Climate-smart Agriculture technologies in Uganda. **Cogent Food & Agriculture**, v. 9, n. 2, p. 2282236, 2023.

KOTTE, B. et al. Artificial intelligence (AI) and its applications in agriculture: A Review. **Environment Conservation Journal**, v. 25, n. 1, p. 274-288, 2024.

KUMAR, S. et al. To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, p. 126023, 2021.

LAVOIE, A. L.; DENTZMAN, K.; WARDROPPER, C. B. Using diffusion of innovations theory to understand agricultural producer perspectives on cover cropping in the inland Pacific Northwest, USA. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 36, n. 4, p. 384-395, 2021.

LÄPPLE, D.; RENSBURG, T. V. Adoption of organic farming: Are there differences between early and late adoption?. **Ecological economics**, v. 70, n. 7, p. 1406-1414, 2011.

LI, F. et al. Farmers' adoption of digital technology and agricultural entrepreneurial willingness: Evidence from China. **Technology in Society**, v. 73, p. 102253, 2023a.

LI, J. et al. Study on the influence mechanism of adoption of smart agriculture technology behavior. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 8554, 2023b.

- LIN, Y. P. et al. Blockchain: The evolutionary next step for ICT e-agriculture. **Environments**, v. 4, n. 3, p. 50, 2017.
- LOWENBERG-DEBOER, J.; ERICKSON, B. Setting the record straight on precision agriculture adoption. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 4, p. 1552-1569, 2019.
- LYBBERT, T. J.; SUMNER, D. A. Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion. **Food policy**, v. 37, n. 1, p. 114-123, 2012.
- MANNING, L. A knowledge exchange and diffusion of innovation (KEDI) model for primary production. **British Food Journal**, v. 115, n. 4, p. 614-631, 2013.
- MANZANO, R. M.; PÉREZ, J. E. Theoretical framework and methods for the analysis of the adoption-diffusion of innovations in agriculture: a bibliometric review. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, n. 96, p. 4, 2023.
- MASI, M. et al. Precision Farming: Barriers of Variable Rate Technology Adoption in Italy. **Land**, v. 12, n. 5, p. 1084, 2023.
- MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A A. Agricultura digital. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 2, n. 1, p. 72-88, 2016.
- MASSRUHÁ, S. M. F. S. et al. **A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente**. 2020. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S. et al.. (2020). Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Embrapa Informática Agropecuária - Livro científico (ALICE).
- MCKINION, J. M. et al. Wireless technology and satellite internet access for high-speed whole farm connectivity in precision agriculture. **Agricultural Systems**, v. 81, n. 3, p. 201-212, 2004.
- MÉDA, Y. J. M. et al. Institutional factors and farmers' adoption of conventional, organic and genetically modified cotton in Burkina Faso. **International Journal Of Agricultural Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 40-53, 2018.
- MENDES, J. J. et al. Adoption and impacts of messaging applications and participation in agricultural information-sharing groups: an empirical analysis with Brazilian farmers. **Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies**, 2023.
- MERRIAM, S. B. **Case study research in education: A qualitative approach** San Francisco (CA): Jossey-Bass, 1988.
- MESQUITA, D. L. et al. **Veículos Autônomos Agrícolas: Caracterização e Perspectivas de Pesquisa**. In: Anais do XLV Encontro da ANPAD – EnANPAD 2021, 2021.
- MICHELS, M. et al. Smartphone adoption and use in agriculture: empirical evidence from Germany. **Precision Agriculture**, v. 21, p. 403-425, 2020.

MICHELS, M.; VON HOBE, C. F.; MUSSHOF, O. A trans-theoretical model for the adoption of drones by large-scale German farmers. **Journal of Rural Studies**, v. 75, p. 80-88, 2020.

MICHELS, M.; BONKE, V.; MUSSHOF, O. Understanding the adoption of smartphone apps in crop protection. **Precision Agriculture**, v. 21, p. 1209-1226, 2020.

MICHELS, M.; BONKE, V.; MUSSHOF, O. Understanding the adoption of smartphone apps in dairy herd management. **Journal of dairy science**, v. 102, n. 10, p. 9422-9434, 2019.

MIN, S.; SO, K. K. F.; JEONG, M. Consumer adoption of the Uber mobile application: Insights from diffusion of innovation theory and technology acceptance model. In: Future of tourism marketing. Routledge, 2021. p. 2-15.

MITTAL, S.; MEHAR, M. Socio-economic factors affecting adoption of modern information and communication technology by farmers in India: Analysis using multivariate probit model. **The Journal of Agricultural Education and Extension**, v. 22, n. 2, p. 199-212, 2016.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 17. ed. Petrópolis: Vozes, 2000.

MORRIS, W.; HENLEY, A.; DOWELL, D. Farm diversification, entrepreneurship and technology adoption: Analysis of upland farmers in Wales. **Journal of Rural Studies**, v. 53, p. 132-143, 2017.

MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems engineering**, v. 114, n. 4, p. 358-371, 2013.

OFFICIAL U.S. **Government Information about the Global Positioning System (GPS) and Related Topics**. 2021. Disponível em: <<https://www.gps.gov/applications/agriculture/>>. Acesso em: 29 abr. 2024.

OSROF, H. Y. et al. Adoption of smart farming technologies in field operations: A systematic review and future research agenda. **Technology in Society**, p. 102400, 2023.

PASSARELLI, M. et al. Adopting new technologies during the crisis: An empirical analysis of agricultural sector. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 186, p. 122106, 2023.

PATHAK, H. S.; BROWN, P.; BEST, T. A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. **Precision Agriculture**, v. 20, p. 1292-1316, 2019.

PIERPAOLI, E. et al. Drivers of precision agriculture technologies adoption: a literature review. **Procedia Technology**, v. 8, p. 61-69, 2013.

PLOLL, U. et al. Sustainable innovations: a qualitative study on farmers' perceptions driving the diffusion of beneficial soil microbes in Germany and the UK. **Sustainability**, v. 14, n. 10, p. 5749, 2022.

QUEIROZ, D. M. et al. (Ed.). **Agricultura digital**. Oficina de Textos, 2022.

RAGO, C. A. P.; ZUCCHI, P. Prontuário Eletrônico do Paciente: como a teoria da difusão de inovações pode colaborar na sua implantação. **Journal of Health Informatics**, v. 9, n. 2, 2017.

REICHARDT, M.; JÜRGENS, C. Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. **Precision agriculture**, v. 10, p. 73-94, 2009.

RIBEIRO, A.E. **Tecnologia Digital | Glossário Ceale**. 2024. Acesso em: 28 abr. 2024. Disponível em: <<https://www.ceale.fae.ufmg.br/glossarioceale/verbetes/tecnologia-digital>>. Acesso em: 28 abr. 2024.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 1. ed. New York: The Free Press, 1962.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 4. ed. New York: The Free Press, 1995.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 5. ed. New York: The Free Press, 2003.

ROGERS, E. M. A prospective and retrospective look at the diffusion model. **Journal Of Health Communication**, v. 9, n. S1, p. 13-19, 2004.

SACCOL, A. Z. Um retorno ao básico: compreendendo os paradigmas de pesquisa e sua aplicação na pesquisa em administração. **Revista de Administração da UFSM**, v. 2, n. 2, p. 250-269, 2009.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. Metodologia de Pesquisa. Porto Alegre: Grupo A. E-book. ISBN 9788565848367. 2013

SAURABH, S.; DEY, K. Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable agri-food supply chains. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, p. 124731, 2021.

SCHERER, S.; BRITO, G. S. Integração de tecnologias digitais ao currículo: diálogos sobre desafios e dificuldades. *Educar em Revista*, v. 36, p. e76252, 2020.

SCHUMPETER, J. A.; NICHOL, A. J. Robinson's economics of imperfect competition. **Journal of political economy**, v. 42, n. 2, p. 249-259, 1934.

SCHULZ, D.; BÖRNER, J. Innovation context and technology traits explain heterogeneity across studies of agricultural technology adoption: A meta-analysis. **Journal of Agricultural Economics**, v. 74, n. 2, p. 570-590, 2023.

SHARMA, A. et al. Blockchain adoption in agri-food supply chain management: an empirical study of the main drivers using extended UTAUT. **Business Process Management Journal**, v. 29, n. 3, p. 737-756, 2023.

SHEPPARD, D. Farmers' reasons for not adopting controversial techniques in grassland farming. **Grass and Forage Science**, v. 16, n. 1, p. 6-13, 1961.

- SILVEIRA, C. F.; NASCIMENTO, J. B.; CARDOSO, H. S. P. Um olhar teórico-prático da difusão da inovação e Propriedade Intelectual. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e71491110440-e71491110440, 2020.
- SILK, K. J. et al. A diffusion of innovations approach to understand stakeholder perceptions of renewable energy initiatives. *Science Communication*, v. 36, n. 5, p. 646-669, 2014.
- SILVA, M.R.; HAYASHI, C. R. M.; HAYASHI, M. C. P. I. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. **InCID: revista de ciência da informação e documentação**, v. 2, n. 1, p. 110-129, 2011.
- SIMIN, M. T.; JANKOVIĆ, D. Applicability of diffusion of innovation theory in organic agriculture. **Economics of Agriculture**, v. 61, n. 2, p. 517-529, 2014.
- SONG, L. et al. Blockchain adoption in agricultural supply chain for better sustainability: A game theory perspective. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1470, 2022.
- SOODAN, V. et al. Modelling the adoption of agro-advisory mobile applications: A theoretical extension and analysis using result demonstrability, trust, self-efficacy and mobile usage proficiency. **Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies**, 2023.
- SRINIVASAN, K.; YADAV, V. K. An empirical investigation of barriers to the adoption of smart technologies integrated urban agriculture systems. **Journal of Decision Systems**, p. 1-35, 2023.
- STRONG, R. et al. Evaluating Brazilian agriculturalists' IoT smart agriculture adoption barriers: Understanding stakeholder salience prior to launching an innovation. **Sensors**, v. 22, n. 18, p. 6833, 2022.
- SUCIU, G. et al. Efficient IoT system for precision agriculture. In: 2019 15th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES). IEEE, 2019.
- TAYLOR, S.; TODD, P. Decomposition and crossover effects in the theory of planned behavior: A study of consumer adoption intentions. **International Journal Of Research In Marketing**, v. 12, n. 2, p. 137-155, 1995.
- SULAIMAN, R. HALL, A. **Beyond Technology Dissemination** - Can Indian agricultural extension re-invent itself? [Índia], 2002. 6 p.
- TEY, Y. S.; BRINDAL, M. Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. **Precision agriculture**, v. 13, p. 713-730, 2012.
- TORMA, G.; ASCHEMANN-WITZEL, J. Social acceptance of dual land use approaches: Stakeholders' perceptions of the drivers and barriers confronting agrivoltaics diffusion. **Journal of Rural Studies**, v. 97, p. 610-625, 2023.
- VASQUES, G. M. et al. Field proximal soil sensor fusion for improving high-resolution soil property maps. **Soil Systems**, v. 4, n. 3, p. 52, 2020.

VENKATESH, V. et al. User acceptance of information technology: Toward a unified view. **MIS quarterly**, p. 425-478, 2003.

VERDOUW, C. et al. Architecture framework of IoT-based food and farm systems: A multiple case study. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 165, p. 104939, 2019.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2005.

VIEITES, R. G. Agricultura sustentável: uma alternativa ao modelo convencional. **Revista Geografar**, v. 5, n. 2, 2010.

UN. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU**. 2019. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/83427-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-deve-chegar-97-bilh%C3%B5es-de-pessoas-em-2050-diz-relat%C3%B3rio-da-onu>>. Acesso em: 14 mai. 2024.

WARNER, L. A. et al. Predicting intentions to engage in a suite of yard fertilizer behaviors: Integrated insights from the diffusion of innovations, theory of planned behavior, and contextual factors. **Society & Natural Resources**, v. 34, n. 3, p. 373-392, 2021.

WOLFERT, S. et al. Big data in smart farming—a review. **Agricultural systems**, v. 153, p. 69-80, 2017.

YADAV, V. S. et al. Blockchain technology adoption barriers in the Indian agricultural supply chain: an integrated approach. **Resources, conservation and recycling**, v. 161, p. 104877, 2020.

YOGARAJAN, L. et al. Exploring the hype of blockchain adoption in agri-food supply chain: a systematic literature review. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1173, 2023.

ZKIK, K. et al. Exploration of barriers and enablers of blockchain adoption for sustainable performance: implications for e-enabled agriculture supply chains. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 26, n. 11, p. 1498-1535, 2023.

ANEXO A – ROTEIRO DE PERGUNTAS PARA OS PRODUTORES RURAIS

QUESTÕES SOBRE A PROPRIEDADE

- 1) Qual a área plantada com café em sua propriedade, em hectares?
- 2) Você produz café especial?
- 3) Você transforma o seu café em algum produto (como café torrado e moído de marca própria)?
- 4) Você trabalha com outra cultura além do café? Qual o tamanho (em hectares) dessas plantações?
- 5) A terra onde você planta é sua ou arrendada? Quantos hectares cada?
- 6) Você tem funcionários? Quantos? Quantos são familiares e quantos são externos? Você contrata funcionários temporários na época de colheita?
- 7) Você participa de outra cooperativa ou associação além desta? Qual? Como funciona essa participação?

QUESTÕES SOBRE INOVAÇÃO E TECNOLOGIAS DIGITAIS

- 8) Como você conhece novas tecnologias para a agricultura?
 - a) Como você procura informações sobre essas novas tecnologias?
 - b) Você participa de algum grupo de produtores, dentro ou fora da cooperativa? Quais são esses grupos?
 - c) Você vai a eventos que falam sobre novas tecnologias na agricultura? Quais? Como você fica sabendo desses eventos? Por que você vai?
 - d) Você conversa com outras pessoas da cooperativa sobre tecnologias novas? Como essas conversas acontecem?
- 9) Quais destas tecnologias digitais você usa atualmente na produção?

Tecnologia Digital	Complexidade
Internet e conexão sem fio	Baixa
Aplicativos móveis, plataformas digitais e <i>software</i>	
Sistemas de posicionamento global (GPS)	
Mapas digitais	
Sensores de solo proximais	Média
Sensores remotos	
Eletrônica embarcada, telemetria e automação	
<i>Deep learning</i> e Internet das Coisas	Alta
Computação em nuvem, <i>Big Data</i> , <i>Blockchain</i> e criptografia	
Inteligência artificial	

10) Como? Por quê?

11) Em sua opinião, quais os desafios e as oportunidades que as tecnologias digitais apresentam para os produtores rurais?

ATRIBUTOS PERCEBIDOS DE INOVAÇÃO DE ROGERS (2003):

12) Você disse que usa as tecnologias X, Y e Z. O que você considera uma vantagem ou benefício ao usar uma tecnologia digital como essas? Por quê?

13) Quais problemas ou necessidades da sua produção essas tecnologias digitais resolvem hoje?

14) O que você mais valoriza no trabalho no campo? Por exemplo, a autonomia na tomada de decisões, a proximidade com a natureza ou a colaboração com outras pessoas? Como esses aspectos se conectam com as tecnologias digitais que você utiliza no dia a dia?

15) Você já teve uma experiência ruim com alguma tecnologia digital? Como isso mudou a sua maneira de adotar outras tecnologias digitais?

16) Para você, é importante testar uma tecnologia digital antes de comprar? Por quê?

17) Como você se sente ao conhecer uma nova tecnologia digital? Pode compartilhar uma experiência sua nesse contexto?

18) É importante para você ver os resultados de uma tecnologia digital antes de comprá-la? Por quê?

Perguntas de follow-up para a pergunta 18:

19) Já aconteceu de você se interessar por uma tecnologia digital e adotá-la após ver os resultados que ela traz para a produção? Por quê? Como foi?

- a) Como você viu esses resultados?
- b) Como decidiu comprar e começar a usar?
- c) O que, nos resultados, te fez escolher essa tecnologia?

20) Você já adotou alguma tecnologia digital sem ver os resultados antes? Como foi essa experiência? Se não, por que não fez isso?

QUESTÕES SOCIOECONÔMICAS

22) Sexo: marcado pelo pesquisador.

23) Idade:

- Até 25 anos
- 26 a 35 anos
- 36 a 45 anos
- 46 a 55 anos
- 56 a 65 anos
- Acima de 65 anos

24) Nível de escolaridade:

- Nenhuma escolaridade
- Ensino Fundamental incompleto
- Ensino Fundamental completo
- Ensino Médio incompleto
- Ensino Médio completo
- Ensino Superior incompleto
- Ensino Superior completo
- Pós-graduação

25) Gênero:

- Masculino
- Feminino
- Prefere não informar

26) Renda mensal familiar (em salários mínimos):

- Até 1 SM
- 1 a 2 SM
- 2 a 3 SM
- 3 a 5 SM
- Acima de 5 SM

27) A renda vem totalmente da agricultura?

- Sim
- Não, há outras fontes de renda (especificar): _____