

**REDUÇÃO DE CUSTOS E EMISSÕES DE GEE COM
ASSINATURA DIGITAL EM COOPERATIVAS DE CRÉDITO DO
AGRONEGÓCIO**

**COST AND GHG EMISSIONS REDUCTION THROUGH
DIGITAL SIGNATURES IN AGRIBUSINESS CREDIT
COOPERATIVES**

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13059/RACEF.V16I2.1330](http://dx.doi.org/10.13059/RACEF.V16I2.1330)

Leonardo Soares Cangirana

leonardo_cangirana@sicredi.com.br

Universidade Federal da Grande Dourados

Deny Carolina Garcia

denycarolina@hotmail.com

Universidade Federal da Grande Dourados

Rafael Martins Noriller

rafael.mnoriller@gmail.com

Universidade Federal da Grande Dourados

Allison Manoel de Sousa

allison.msousa@gmail.com

Universidade Federal do Pará

Clandio Favarini Ruviano

clandiorufiano@ufgd.edu.br

Universidade Federal da Grande Dourados

Data de envio do artigo: 27 de Dezembro de 2024.

Data de aceite: 19 de Maio de 2025.

Resumo: O setor do agronegócio tem experimentado crescimento significativo que resultou em aumento no volume de transações, podendo gerar custos adicionais associados à formalização de contratos. Este estudo mensura os efeitos econômicos e ambientais decorrentes da adoção das assinaturas eletrônicas/digitais em uma cooperativa de crédito, abordando a especificidade locacional e sua influência na redução dos custos de deslocamento para assinatura de contratos. Analisando dados de contratos firmados entre 2018 e 2023, estimaram-se economias financeiras superiores a R\$ 180 milhões e uma redução de mais de 900 toneladas de Gases de Efeito Estufa, incluindo CO₂eq, destacando o impacto positivo dessa inovação tecnológica na mitigação ambiental. Esses achados reforçam a relevância das assinaturas digitais como ferramenta de redução dos custos de transação e de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a literatura ao abordar a lacuna existente sobre os impactos ambientais da digitalização de transações no agronegócio.

Palavras-chave: Agronegócios; Assinatura Digital; Inovação; Processos; Segurança; Sustentabilidade.

Abstract: *The agribusiness sector has experienced significant growth, leading to an increase in the volume of transactions and potentially generating additional costs associated with contract formalization. In this study, we measure the economic and environmental effects resulting from the adoption of electronic/digital signatures in a credit cooperative, considering locational specificities and their influence on reducing travel costs related to contract signing. By analyzing data from contracts signed between 2018 and 2023, we estimate financial savings of over BRL 180 million and a reduction of more than 900 tons of greenhouse gases, including CO₂-equivalent emissions, highlighting the positive impact of this technological innovation on environmental mitigation. These findings underscore the relevance of digital signatures as a tool for reducing transaction costs and mitigating greenhouse gas emissions,*

contributing to the literature by addressing the existing gap regarding the environmental impacts of transaction digitalization in the agribusiness sector.

Keywords: *Agribusiness; Digital Signature; Innovation; Processes; Security; Sustainability.*

1 INTRODUÇÃO

Em uma Economia de Custos de Transação, a especificidade de ativos pode ser descrita como o grau em que um investimento está exclusivamente vinculado a uma determinada atividade e quão complicado seria movê-lo sem que houvesse uma perda de valor (Williamson, 1985; Thielmann, 2013). Em razão da evolução tecnológica nos mais diversos meios da sociedade, bem como do grande volume de transações diárias, a maior parcela dos contratos pactuados com as instituições financeiras é firmada no ambiente eletrônico (Czelusniak; Souza, 2021). A assinatura eletrônica passou a ser um elemento essencial para o progresso dessas operações (Freitas, 2020; Leikums, 2013), sendo que a tendência para a digitalização das empresas se apresenta como um mecanismo de desenvolvimento sustentável (Borcosi et al., 2023).

A pandemia do COVID-19 facilitou o desenvolvimento dos serviços como e-commerce e aumentou a demanda por trabalhos remotos como as videoconferências e o teletrabalho (Dohring et al., 2021) o que possibilitou às empresas prosseguir com seus negócios de maneira sustentável (Donthu; Gustafsson, 2020). Nesse contexto, a assinatura eletrônica é empregada como ferramenta garantidora da confiabilidade (Sepashvili, 2020; Titov, et al., 2022), uma vez que representa o equivalente a uma assinatura manuscrita, proporcionando segurança através da validação da autenticidade (Santos et al., 2022). Os benefícios potenciais da adoção das tecnologias digitais englobam aspectos econômicos (Dohring et al., 2021), sociais (Bhutani; Paliwal, 2007) e ambientais (Borcosi et al., 2023). No entanto, até o desenvolvimento desta pesquisa, não foram encontrados estudos que quantifiquem esses

benefícios.

Além disso, destaca-se que a assinatura eletrônica ganha destaque quando se considera o setor do agronegócio. Esse setor possui diferentes contratos com agentes diversos devido às transações necessárias para a viabilização relacionadas às atividades agrícolas e pecuárias. Por esse motivo, as assinaturas eletrônicas tendem a ter efeito substancial no que tange aos aspectos econômicos, ambientais e sociais discutidos por estudos anteriores (Dohring et al., 2021; Borcosi et al., 2023) em decorrência das transações do setor do agronegócio necessitar percorrer distâncias consideráveis para o fechamento de contratos. Assim, acredita-se que a assinatura eletrônica produz benefícios socioambientais considerando contratos que envolvem entidades do setor do agronegócio.

Com base nisso, percebe-se que a adoção da assinatura eletrônica tende a produzir benefícios socioambientais quando se consideram transações que envolvem agentes diretamente relacionados ao setor do agronegócio. Isso ganha ainda mais destaque em operações que envolvem transações relacionadas à concessão de empréstimos e financiamentos de cooperativas de crédito aos agentes do agronegócio. Até porque, esses agentes precisam se deslocar por distâncias consideráveis por mais de uma vez quando realizam contratos junto a instituições financeiras para obtenção de capital financeiro.

Para Quintam e Assunção (2023) o agronegócio desempenha papel importante na economia brasileira (importante para balança comercial favorável e também no crescimento do PIB), suprimento de alimentos no mercado nacional e também internacional. O agronegócio brasileiro tem por fundamento o comércio com mais de 150 países, sendo a China a nação com maior participação no comércio internacional brasileiro.

Diante desse cenário, tem-se uma lacuna latente que abre espaço para a realização de estudos que abordem a temática de assinatura eletrônica e setor do agronegócio. Por esse motivo, este trabalho investigou o efeito econômico e ambiental (em termos de redução

de CO₂eq), da adoção da assinatura eletrônica em contratos do agronegócio.

Nessa perspectiva, espera-se que esta pesquisa forneça subsídios para a tomada de decisões de agentes do agronegócio que realizam atividade de plantio e criação de animais, os quais precisam de crédito para viabilizar atividades do agronegócio, e que recorrem a cooperativas de crédito para obtenção de recursos de forma a financiar estas atividades econômicas. Adicionalmente, destaca-se que o presente estudo pode proporcionar insights positivos ao evidenciar os benefícios em forma de economia de recursos financeiros e diminuição do impacto ambiental para empresas que atuam em setores outros. Isso porque essas organizações podem compreender mais claramente e de forma mais detalhada os benefícios no âmbito socioambiental da adoção de práticas a digitalização envolvendo contratos.

Em um período recente, houve progressos consideráveis no campo da tecnologia, resultando na disponibilização rápida de informações e resolução de problemas em questão de minutos. Esses avanços tecnológicos trouxeram praticidade e eficiência para nossas rotinas diárias (Souza; Rezende, 2023), sendo que a assinatura eletrônica/digital passou a ser o mecanismo pelo qual é possível fornecer confiança e segurança às comunicações e transações realizadas em ambientes virtuais (Menke, 2003).

Dessa forma, este trabalho representa uma contribuição significativa para a literatura em diferentes óticas. Em primeiro lugar, aborda o tema da adoção da assinatura eletrônica/digital no contexto do agronegócio, um setor de grande importância na economia brasileira, correspondendo a 23,8% do Produto Interno Bruto (PIB) do país em 2023 (Cepea, 2024). Em segundo lugar, busca avaliar os benefícios financeiros potenciais que podem ser desfrutados por produtores e cooperativas. Em terceiro lugar, procura analisar os efeitos ambientais decorrentes da adoção da assinatura eletrônica/digital, possibilitados pela redução no uso do combustível e papel.

Ressalta-se que a abordagem proposta

nesta pesquisa vai além dos aspectos econômicos, preocupando-se também, com os efeitos ambientais da adoção da assinatura eletrônica/digital. Essa abordagem ganha ainda mais relevância devido ao fato de, embora a assinatura digital ter a capacidade de promover benefícios econômicos e socioambientais, ainda é um mecanismo razoavelmente recente e, por este motivo, ainda carece de mais estudos que buscam compreender e mensurar de forma mais precisa a magnitude destes benefícios. Dentre os estudos que buscaram compreender esses benefícios, destaca-se o desenvolvido por Leikums (2013), que revelou os serviços eletrônicos como mecanismos associados ao desenvolvimento do setor rural, e Wang, Dong e Ren (2023), que apontaram redução dos custos de transação quando ocorre a adoção de mecanismos aliados à digitalização e assinatura de forma eletrônica de contratos. Assim, a realização de novos estudos sobre a temática pode proporcionar evidências adicionais sobre os benefícios em termos econômicos e socioambientais da adoção da prática da assinatura digital.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Teoria dos Custos de Transação

A Teoria do Custo de Transações oferece uma perspectiva contemporânea sobre o mercado e as organizações ao destacar a transação como a unidade primordial para a análise das interações entre firmas (Levenhagem, 2018). Coase (1937) explica que a existência de custos associados ao uso do mecanismo de preços justifica a rentabilidade de manter uma empresa. O “grande insight de Coase” é que as organizações surgem porque, em certas ocasiões, é mais custoso gerir transações econômicas através do mercado do que dentro dos limites de uma organização (Barney; Hesterly, 2004; Cuypers et al., 2021).

No contexto inicial da formação da Teoria dos Custos de Transação, o custo de transação é entendido como o custo associado ao uso do mercado para orquestrar transações econômicas

(Williamson, 1981). Seguindo a linha de raciocínio de Coase (1937), a primeira ampliação significativa dessa lente teórica foi proposta por Alchian e Demsetz em 1972, conforme destacado por Barney e Hesterly (2004), que focaram nos desafios de mensuração como justificativa para a existência de empresas.

Quando essa interface é bem elaborada, semelhante a uma máquina bem ajustada, as transferências ocorrem sem problemas (Williamson, 1981; Cuypers et al., 2021). Nessa abordagem, considerando as discussões propostas por Williamson (1981), os custos de transação estão relacionados aos custos associados à “negociação, redação e garantia do cumprimento de um contrato”. Dessa forma, os custos de transação são inerentes ao processo de cumprimento de contrato, que pode ter níveis superiores de custo dependendo da complexidade da relação das partes que assinam o referido contrato, tornando os custos mais altos, o que poderia gerar impactos financeiros e até socioambientais de forma mais substancial (Fiani, 2013; Wang; Dong; Ren, 2023).

Assim, a especificidade de ativos foi definida por Williamson (1985) como a medida em que um investimento é dedicado a uma atividade específica e quão onerosa seria sua realocação considerando a perda de valor associada. Ele identificou seis tipos distintos de especificidade de ativos. Quando os ativos são altamente específicos para um local, isso pode criar dependência e limitar as opções de negociação das partes envolvidas. Consequentemente, podendo resultar em grau superior de integração vertical, cooperação mais estreita entre as partes ou, em alguns casos, até mesmo na internalização das transações (Williamson, 1985).

Um exemplo da influência da especificidade locacional sobre os custos de transação, é explicado por Mello e Paulillo (2009), que analisaram as transações realizadas pelos citricultores de São Paulo. Os autores identificaram que a especificidade locacional ocorre quando o processo de amadurecimento da fruta acontece em áreas distantes dos locais de entrega, tornando a logística mais difícil e

umentando os custos de distribuição.

Diante desse cenário, os custos de transação compreendem elementos cruciais em um ambiente capitalista amplamente globalizado. Os custos que envolvem a transação entre agentes de mercado ganham ainda mais relevância quando são considerados os aspectos (i) econômicos; (ii) ambientais; e (iii) sociais. Isso porque instrumentos que possam promover benefícios nesses aspectos tendem a ser adotados e instituídos por organizações (Williamson, 1981). A assinatura eletrônica ganha espaço nesse debate por acelerar os processos transacionais entre dois agentes, principalmente no agronegócio devido ao fato de os agentes envolvidos em atividades agrícolas e pecuárias precisarem se deslocar por distâncias consideráveis para efetivar transações, principalmente na obtenção de recursos junto a instituições financeiras (Leikums, 2013; Wang; Dong; Ren, 2023). Dessa maneira, compreende-se que a Teoria dos Custos de Transação promoveria subsídios adequados para explicar o fenômeno dos benefícios socioambientais promovidos pela adoção da assinatura eletrônica em instituições financeiras em operações envolvendo empréstimos e financiamentos a agentes do setor do agronegócio.

2.2 Assinatura eletrônica/digital nas instituições financeiras

A integração da tecnologia com a internet resultou em uma troca de informações mais rápida e aumentou o acesso à informação para um número crescente de pessoas, conectando indivíduos de forma ampla através da rede. Dessa forma, a tecnologia da informação desempenhou um papel crucial no impulsionamento da globalização (Czelusniak; Souza, 2021).

Miranda (2014) define contrato eletrônico como a união de uma oferta de bens ou serviços, apresentada de modo audiovisual através de uma rede internacional de telecomunicações, em um meio acessível e passível de interatividade. A evolução dos contratos não se limita a fronteiras nacionais e é amplamente impulsionada pela

globalização, possibilitando acordos comerciais entre indivíduos e empresas situados em diversas partes do mundo (Schreiber, 2018, p. 401). Os contratos firmados por meios virtuais estão completamente alinhados com o avanço tecnológico, proporcionando maior conveniência e agilidade nas transações (Czelusniak; Souza, 2021).

As contratações firmadas entre pessoas e instituições financeiras estão entre as transações que mais ocorrem diariamente. Em virtude da evolução tecnológica que vem ocorrendo nos mais diversos meios da sociedade, a maioria dessas contratações é realizada em ambiente eletrônico. Dessa forma, os contratos físicos são substituídos por documentos digitais, e a manifestação da vontade, firmada antes pela assinatura de próprio punho, agora é substituída pela assinatura eletrônica/digital (Czelusniak; Souza, 2021).

Assim, conforme o Instituto Nacional de Tecnologia da Informação (ITI), a implementação da Infraestrutura de Chaves Públicas Brasileira, englobando as assinaturas eletrônicas e digitais, foi um avanço significativo e pioneiro em comparação com alguns países. No entanto, países como Canadá, Chile, Coreia do Sul, Israel e Singapura, assim como a União Europeia, progrediram ainda mais nesse campo. Ao longo dos anos, a legislação dessas nações foi aprimorada para refletir o atual cenário de tecnologias e procedimentos (BRASIL, 2019a).

As assinaturas eletrônicas/digitais são uma forma de conferir autenticidade ou autoria a um conjunto de dados eletrônicos, que está conectado ou logicamente associado a outro conjunto de dados também eletrônicos (ITI, 2022). A obtenção da assinatura eletrônica pode ser feita através de vários dispositivos ou sistemas, como login/senha, biometria, utilização de um Número de Identificação Pessoal (PIN), entre outros (ICP-BRASIL, 2015).

Hofacker et al. (2007) argumentam que os serviços eletrônicos tendem a ser um mecanismo que gera benefícios ao aumentar o valor da organização e proporcionar comodidade e aumento de confiabilidade aos clientes em decorrência de ser um procedimento codificado

e com níveis elevados de segurança. Isso aliado ao fato de poderem ser realizados sem a necessidade de deslocamento do cliente até a organização, o que é considerado como um recurso imaterial e que maximiza os ganhos de tempo por parte dos clientes (HOFACKER et al., 2007; Wang; Dong; Ren, 2023).

A assinatura eletrônica/digital serve para agregar os valores de confiança e segurança às comunicações e negócios veiculados em ambiente virtual. A segurança e autenticidade dos dados são garantidas por meio da criptografia de chaves públicas e privadas, que são formadas por uma combinação de letras e números bastante extensa, criadas por computador, ou certificados digitais que se constituem de um documento eletrônico, emitido por empresas certificadoras com a finalidade de garantir a autenticidade das informações de uma pessoa (Menke, 2003).

Conforme estabelecido pela Lei da Liberdade Econômica (Lei nº 13.874/2019), é garantido a qualquer indivíduo, seja ele uma pessoa física ou jurídica, o direito, além de ser considerado fundamental para o progresso e o avanço econômico da nação, de armazenar documentos através de microfilme ou formato digital, sendo estes equiparados a documentos físicos para todos os fins legais (conforme artigo 3º, inciso X) (BRASIL, 2019b).

De acordo com Evangelista (2010), com a consolidação da economia global e o surgimento de novas tecnologias, houve uma modificação no relacionamento entre empresas e sociedade. Projetos públicos e privados passaram a fortalecer a identidade local ao focar na melhoria da qualidade de vida da comunidade.

A economia digital está agora profundamente integrada à economia tradicional. Os consumidores utilizam não apenas o acesso à Internet e dispositivos móveis, mas também os empregam para aumentar sua eficiência pessoal. (Vassiladou et al., 2011). Friedlaender (1998) observou que, embora a identificação visual humana de assinaturas seja relativamente simples, lidar com um grande volume de assinaturas, juntamente com outros documentos e procedimentos a serem

verificados, torna-se um trabalho complexo e demorado.

Na perspectiva macroeconômica, o reflexo da adoção da assinatura eletrônica/digital inclui a redução de despesas, diminuição nos custos de transação, melhoria dos ciclos de trabalho, uso adequado da força de trabalho, redução de fraudes, dentre outros. No cenário microeconômico, os benefícios são relacionados à redução nos custos de documentação, custos gerenciais, custos fixos e variáveis (Ískender, 2006).

Para fornecer uma noção do impacto nas transações comerciais, é importante mencionar que no ano safra 2022/23 foram formalizados aproximadamente 1,8 milhões de títulos de crédito na cadeia do agronegócio (BACEN, 2024).

2.3 Cooperativas de crédito

As cooperativas de crédito são instituições financeiras não bancárias, criadas a partir de um grupo de associados que utilizam seus recursos para a formação do capital inicial e, a partir de então, buscam o crescimento contínuo desses recursos (Sousa Neto; Reis, 2015). Por esse motivo, as cooperativas de crédito são organizações com propriedade difusa, pois a participação efetiva e direta dos seus associados no processo de gestão e de tomada de decisão torna-se algo complexo (Gerhard, 2016).

Uma cooperativa de crédito é um tipo específico de instituição financeira captadora de depósitos à vista que atua de forma semelhante aos bancos comerciais, realizando intermediação financeira entre seus usuários e atendendo demandas por compensação de documentos e pagamentos de contas (Barroso, 2009). A diferença entre uma cooperativa e um banco comercial é justamente o fato de que na cooperativa, os usuários também são proprietários do empreendimento, com direito de propriedade residual sobre seus ativos e fluxos financeiros (Croteau, 1968; Taylor, 1974).

A cooperação entre vários atores econômicos em prol de um objetivo comum é uma situação que existe desde o início dos tempos. A cooperação é descrita desde a pré-

história como o ato de se associar de forma solidária para alcance de objetivos em comum, o que possibilitou a cobrança de tributos nas primeiras civilizações como forma de viver em sociedade e proporcionar benefícios à comunidade (Bialoskorski Neto, 2001). Apesar disso, o cooperativismo ganhou relevância mais recentemente. Em 1895, houve a criação da Aliança Cooperativa Internacional (ACI), órgão não governamental e independente cuja missão consiste em defender, representar e congregar o movimento cooperativista (Santos; Gouveia; Vieira, 2012). Dessa forma, foi um órgão importante ao fomentar ações de cooperativismo em diferentes países, fomentando as práticas de organizações cooperativas.

Em 1902, o cooperativismo de crédito no Brasil teve seu início, liderado pelo padre suíço Theodor Amstad e mais 19 lideranças da comunidade (RICCIARDI, 1990). Eles constituíram a primeira cooperativa de crédito da América Latina, denominada Caixa de Economias e Empréstimos Amstad, na Linha Imperial. Esse empreendimento foi construído no município de Nova Petrópolis (Rio Grande do Sul) com inspiração no modelo alemão de cooperativismo Raiffeisen (Ricciardi, 1990).

Em 1964, a promulgação da Lei da Reforma Bancária (Lei nº 4.595/1964) definiu de forma mais precisa o funcionamento e a fiscalização das cooperativas de crédito, colocando-as sob a responsabilidade do BACEN. Posteriormente, em 1971, a Lei nº 5.764/1971 foi decretada para regulamentar o funcionamento dessas instituições, direcionando-as para a prática dos princípios de gestão democrática, envolvendo a participação dos associados (Araújo, 2011). Além disso, em um cenário mais recente, essas cooperativas apresentam diferenças significativas, pois além da gestão democrática, adotam estrutura de autogestão e distribuição de sobras entre os associados (Gerhard, 2016).

Em 2023, o Panorama do Sistema Nacional de Crédito Cooperativo (SNCC), revela que a rede, composta por 799 cooperativas singulares, 32 cooperativas centrais e quatro confederações e dois bancos cooperativos, garante presença física em 55,3% dos municípios brasileiros,

oferecendo ao menos uma unidade de atendimento (BACEN, 2023). Os canais digitais de atendimento já concentram a maioria das transações, e o investimento em infraestrutura tecnológica é um item de destaque nas demonstrações financeiras combinadas dos dois principais sistemas de três níveis, o Sicredi e o Sicoob. Essa inserção permite ampliar a oferta de produtos e serviços ao associado e reduzir os custos de transação (Caraffini, 2020). Assim, o cooperativismo, especialmente no que concerne às organizações cooperativas de crédito, possuem substancial relevância no cenário brasileiro ao possibilitar transações de recursos financeiros com custo mais acessível para seus cooperados, possibilitando a viabilidade de diferentes atividades econômicas. Além disso, práticas que visam a redução dos custos de transação, por exemplo, a adoção da digitalização de contratos e assinatura eletrônica podem ser elementos com capacidade de potencializar a relevância das cooperativas de crédito no cenário brasileiro.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Amostra e Coleta de Dados

A presente pesquisa foi desenvolvida a partir da análise de dados secundários de uma cooperativa de crédito relativos aos contratos firmados para concessão de crédito rural. Por esse motivo, caracteriza-se esta pesquisa como estudo descritivo. Considerando-se que a Cooperativa iniciou o uso da plataforma de assinatura eletrônica em 2018, foram avaliados um conjunto de dados referentes a contratos firmados, de uma cooperativa de crédito localizada no estado de Mato Grosso do Sul, que se estende pelo intervalo temporal de janeiro de 2018 a dezembro de 2023.

A Cooperativa estudada teve sua fundação em 1989 no estado de Mato Grosso do Sul, opera em doze cidades e possui dez agências em funcionamento. Essa cooperativa encerrou o ano de 2023 com a segunda melhor eficiência do Sistema Sicredi, registrou um resultado superior a R\$ 70 milhões. A análise dos dados

foi feita a partir do banco de dados dos contratos assinados eletronicamente por meio da plataforma de assinatura eletrônica utilizada pela cooperativa estudada. A partir disso, serão estimados os custos que seriam gerados caso a formalização de cada um desses contratos fosse realizada de forma física, conforme detalhado a seguir. Para determinar a economia de CO₂eq foram utilizadas as recomendações do guia do Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC).

Em relação às informações disponibilizadas pela cooperativa em questão e que foram objeto de estudo, foram analisados 13.197 contratos, dos quais 19,50% tiveram como público-alvo os pequenos produtores e produtores de agricultura familiar; 48,99% corresponderam a contratações efetuadas pelos médios produtores; e 31,53% atenderam os grandes produtores. Dessa forma, ao todo, foram 14.160 signatários dessas contratações (Tabela 1).

Tabela 1 - Contratos realizados entre 2020 e 2023 na cooperativa.

Segmento	Contratos	%	Signatários	%
Familiar	2454	19,50%	2.571	18,16%
Médio Produtor	4461	48,99%	4.683	33,07%
Grande Produtor	6282	31,51%	6.906	48,77%
Total	13.197	100,00%	14.160	100,00%

Fonte: dados da pesquisa.

Para o cálculo do deslocamento total, foram consideradas as coordenadas geográficas dos signatários dos contratos, no momento da assinatura do documento. No total, 5.428.513,07 quilômetros deixaram de ser percorridos, devido ao uso da assinatura eletrônica/digital para a formalização dos contratos. Mais da metade dessa distância (51%) foi relativa aos contratos dos grandes produtores, 32% dos médios produtores e 18% dos pequenos produtores (Tabela 2).

Tabela 2 - Distância total economizada por segmento em quilômetros

Segmento	Total km	%
Familiar	954.888,10	18%
Médio Produtor	1.729.421,10	32%
Grande Produtor	2.744.203,87	51%
Total	5.428.513,07	100%

Fonte: dados da pesquisa.

A partir dos dados fornecidos pela cooperativa, a quantidade de folhas de A4 utilizadas foi estimada com base a média de 20 folhas por contrato (considerando duas vias) (Tabela 3).

Tabela 3 - Quantidade de papel estimada

Segmento	Nº contratos	A4 por contrato	Total de papel (kg)
Familiar	2454	20	245,400
Médio Produtor	4461	20	396,400
Grande Produtor	6282	20	616,400
Total	13.197	20	1.258,200

Fonte: dados da pesquisa.

A partir das informações dispostas na Tabela 3, percebe-se que foram economizados um total de 1.258 Kg de papel A4, referentes aos contratos. Desse total de papel economizado, destaca-se que 616 kg referem-se aos contratos com grandes produtores, 48,99% do papel que seria utilizado pela cooperativa de crédito em caso de não ter aderido à assinatura digital.

3.2 Variáveis da Pesquisa

A mensuração do custo de transação do agricultor considera os valores de faturamento, constantes na base de dados fornecida pela cooperativa. O faturamento anual foi transformado em faturamento mensal e depois dividido por 220 (horas), resultando assim no faturamento/hora de cada segmento. A fórmula utilizada para o cálculo do custo de transação é mostrada a seguir:

$$CTR = \frac{\left(\frac{FA}{P}\right)}{HT} \times HP$$

Em que:

CTR = Custo de transação do produtor rural (R\$).

FA = Faturamento anual do produtor rural (R\$).

P = Período de duração do ano fiscal (meses).

HT = Horas de trabalho do produtor rural (mensal).

HP = Duração média do tempo de deslocamento do produtor até a Cooperativa.

Para o cálculo da economia de combustível, foi considerado o gasto de combustível com base no percurso que o produtor percorreria até a Cooperativa para a formalização de um contrato de maneira presencial, considerando o trajeto de ida e volta. O consumo de combustível do veículo foi calculado utilizando os dados INMETRO (2023), do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBE) com base na média de consumo dos principais veículos cadastrados na base de dados da Cooperativa, como demonstrado por meio da seguinte equação:

$$EC = \frac{KM}{CM} \times P$$

Em que:

EC = Valor estimado da economia de combustível (R\$)

KM = Quantidade estimada de quilômetros percorridos pelo agricultor ao se deslocar até a Cooperativa.

CM = Consumo de combustível do veículo.

P = Preço do combustível (R\$)

A distância entre os signatários dos contratos e a cooperativa foi calculada a partir dos dados de latitude e longitude, utilizando a fórmula de Haversine. Essa equação é usada na navegação, e fornece a distância ao longo de um grande círculo entre dois pontos na superfície de uma esfera (Terra) com base em sua longitude e latitude, levando em conta a curvatura da Terra para fornecer resultados precisos (Yulianto; Ramadiani; Kridalaksana, 2018).

Para calcular a quantidade da emissão evitada de CO₂e_q em toneladas com base na redução de papel, foram usados os seguintes critérios: (i) a média estimada de consumo por documentação

formalizada foi estimada em dez folhas de papel A4 e multiplicada por 2, considerando-se 2 vias emitidas por contrato; (ii) Peso informado de cada folha foi de 0,005 quilogramas (kg) e (iii) Fator de emissão para CO₂ é de 0,426 kgCO₂/kg. A seguinte equação é utilizada para demonstrar a emissão evitada de CO₂:

$$tCO_2 = ((DED \times QA4) \times PA4) \times FCO_2$$

Em que:

tCO₂ = Oportunidade de economia de tCO₂

DED = Documentos Assinados Portal (Finalizados)

QA4 = Folhas por documento

PA4 = Peso em kg por folha A4

FCO₂ = Fator de emissão CO₂

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) não fornece uma equação específica para calcular a redução de CO₂eq associada à economia de papel A4, no entanto, incentiva os especialistas a desenvolverem fatores de emissões locais para serem utilizados como alternativa adicional no cálculo do inventário de GEE (gases de efeito estufa). Com isso o FCO₂ (Fator de emissão CO₂) adotado para os cálculos foi disponibilizado pela Cooperativa estudada, assim como as demais informações relativas ao consumo de papel A4.

Para calcular a quantidade da emissão evitada de CO₂eq em toneladas, foi considerado o fator de emissão de CO₂ do veículo conforme especificado pelo INMETRO (2023), no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), para o ano de 2023 e a distância estimada do percurso que os signatários percorreriam até a Cooperativa para a formalização dos contratos de maneira presencial, considerando-se ida e volta, como demonstra a equação abaixo:

$$TCO_2 = (km \times 2) \times FCO_2$$

Em que:

tCO₂ = Oportunidade de economia de TCO₂.

KM = Quantidade estimada de quilômetros percorridos pelo agricultor ao se deslocar até a Cooperativa.

FCO₂ = Fator de emissão CO₂ por KM

3.3 Análise de Dados

As informações para consecução do presente estudo foram coletadas junto à instituição, a qual foi fornecida pela cooperativa que teve suas informações como objetivo de estudo. Sequencialmente, essas informações foram importadas e tratadas com o auxílio do software Microsoft PowerBI®, para estabelecer conexões entre as tabelas e calcular a distância percorrida. A análise dos dados foi conduzida por meio de estatísticas descritivas, utilizando o Microsoft Excel®, onde foram calculadas medidas como média, desvio padrão, mínimo, máximo e curtose. Além disso, para descrição de informações qualitativas, também se fez o uso de análise de distribuição de frequência para compreender de forma mais clara o comportamento relacionado aos custos incorridos e emissões de CO₂ decorrentes da assinatura de contratos, que foram evitados devido ao fato da implementação da assinatura digital pela cooperativa.

De forma complementar à análise descritiva das informações presentes nos contratos assinados eletronicamente pelos produtores rurais e cooperativa de crédito, essas informações

também foram submetidas à Simulação de Monte Carlo como forma de aprofundar as análises referentes à economia de combustível e ao custo de oportunidade gerado ao produtor rural. A Simulação de Monte Carlo modela os resultados possíveis por meio do emprego de distribuições de probabilidade para variáveis com incertezas intrínsecas. Para isso, calcula repetidamente em cada interação, introduzindo diferentes conjuntos de números aleatórios dentro dos limites mínimo e máximo estabelecidos, com o objetivo de simular o comportamento de um sistema real. Dessa forma, realizou-se dez mil simulações de Monte Carlo ao considerar as variáveis de (i) Deslocamento total, (ii) Renda por hora, (iii) perda em horas e (iv) renda com o tempo (custo de oportunidade).

4 RESULTADOS

4.1 Efeitos Ambientais

A assinatura digital de contratos tende a implicar na redução de materiais e deslocamento que geram a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, por exemplo o CO₂. Neste tópico, são analisados os efeitos ambientais evitados em função da implementação da assinatura digital em forma de contratos não impressos e emissão de CO₂ devido ao deslocamento das partes envolvidas no contrato.

Durante o período analisado, a redução do uso de papel, proporcionada pela adoção da assinatura eletrônica/digital resultou em uma oportunidade de economia de aproximadamente 0,5622 toneladas de CO₂eq (Tabela 04).

Tabela 4 - Oportunidade de economia de CO₂

Segmento	Nº contratos	A4 por contrato	Peso Folha (Kg)	FCO ₂	Total folhas (ton)	tCO ₂ eq
Familiar	2.454	20	0,005	0,426	0,2454	0,1045
Médio Produtor	4.461	20	0,005	0,426	0,4461	0,1900
Grande Produtor	6.282	20	0,005	0,426	0,6282	0,2676
Total	13.197	20	0,005	0,426	1,3197	0,5622

Fonte: dados da pesquisa.

Ao evitar o deslocamento do agricultor até a cooperativa para a assinatura física dos contratos, gera-se uma economia de CO₂eq. Para o cálculo dessa estimativa, adotou-se os fatores de emissão de CO₂, disponibilizados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO, para o ano de 2023.

A análise foi desenvolvida a partir dos dados principais veículos cadastrados por produtor, disponibilizados pela cooperativa estudada. A partir disso, foi calculada a média dos fatores de emissão de CO₂ para o conjunto de dados. Os cálculos de fator de emissão foram realizados, levando-se em consideração o porte do produtor (pequeno produtor ou produtor familiar, médio produtor e grande produtor).

Tabela 5 - Oportunidade de economia de CO₂eq

Segmento	KM evitado	Fator de Emissão (CO ₂ (g/km))	TCO ₂ eq	%
Familiar	954.888,10	147,8154	141,15	15,52%
Médio Produtor	1.729.421,10	167,0632	288,92	31,77%
Grande Produtor	2.744.203,87	174,6575	479,30	52,71%
Total	5.428.513,07	163,1787	909,37	100,00%

Fonte: dados da pesquisa.

A oportunidade de economia de CO₂eq gerada pela adoção da assinatura eletrônica/digital foi estimada em 909,37 toneladas. Mais da metade (52,71%) da emissão de CO₂eq evitada com as contratações, foi relativa aos contratos firmados com produtores de grande porte, 31,77% foi referente ao grupo dos médios produtores e 15,52% foi decorrente dos contratos da agricultura familiar, ou pequenos produtores (Tabela 05).

4.2 Efeitos Financeiros

Para além dos efeitos ambientais, a adoção da assinatura digital também tem a capacidade de implicar efeitos financeiros diretamente associados às partes que firmam o contrato. Dentre esses efeitos, destacam-se o custo de oportunidade relacionado à economia de combustível e o custo de oportunidade com economia de deslocamento. Com base nos dados coletados, inicialmente foi calculado o custo de oportunidade da economia de combustível.

Tabela 6 - Custo de oportunidade da economia de combustível (R\$)

Segmento	2020	2021	2022	2023	Total
Familiar	14.660,07	114.354,74	159.583,13	170.941,96	459.539,90
Médio Produtor	17.731,56	263.847,20	272.845,21	290.653,47	845.077,44
Grande Produtor	84.407,85	389.191,20	424.188,58	551.731,83	1.449.519,45
Total	116.799,48	767.393,13	856.616,92	1.013.327,26	2.754.136,79

Fonte: dados da pesquisa.

As informações da Tabela 6 evidenciam que, no total, foram economizados R\$ 2.754.136,79 ao evitar o deslocamento dos signatários até a cooperativa. Ao avaliar os valores economizados em combustível, percebe-se um aumento substancial no intervalo temporal analisado em função de o ano de 2020 representar apenas 4,20% do montante economizado e o ano de 2023 representar 36,79% do montante economizado. Dessa forma, percebe-se que, entre 2020 e 2023, houve aumento significativo no número de contratos que foram firmados considerando o implemento da assinatura digital.

Na sequência, os montantes economizados em combustível foram ponderados pelo número de contratos com propósito de compreender o custo médio de combustível economizados por contrato ao considerar o pequeno, médio e grande produtor. Essas informações são dispostas na Tabela 7 (próxima página).

Tabela 7 - Média do custo de oportunidade da economia de combustível (R\$)

Segmento	2020	2021	2022	2023	Média Total
Familiar	121,16	154,32	197,50	189,72	178,74
Médio Produtor	78,81	195,15	189,87	174,15	180,46
Grande Produtor	199,08	168,48	206,92	260,01	209,89
Total Geral	133,01	172,65	198,10	207,96	189,70

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados apresentados na Tabela 7 elucidam que o custo médio de combustível para cada assinatura de contrato foi de 189,70 reais. Quando segmentado pelo porte dos produtores, percebe-se que o custo do pequeno produtor foi de R\$ 178,74; o custo do médio produtor foi de R\$ 180,46; e o custo médio do grande produtor foi de R\$ 209,89. Dessa forma, observa-se que o custo de combustível economizado em decorrência da implementação da assinatura digital se eleva à medida que o porte do produtor rural aumenta.

Além do custo de combustível, também foi calculado o custo de oportunidade do produtor. Esse custo é representado pela despesa evitada com deslocamento, para a assinatura de contratos e documentos. Para a mensuração do custo de oportunidade do produtor, levou-se em consideração o tempo médio que o produtor gastaria percorrendo o trajeto de ida e volta até a cooperativa, multiplicado pelo seu faturamento/hora.

Na Tabela 8, apresentam-se os resultados referentes ao custo de oportunidade da economia de deslocamento dos produtores que assinaram seus contratos por meio eletrônico.

Tabela 8 - Custo de oportunidade da economia de deslocamento (R\$)

Segmento	2020	2021	2022	2023	Total
Pequeno Produtor	21.106,61	224.056,62	298.906,83	252.756,00	796.826,06
Médio Produtor	202.270,05	3.264.565,95	3.039.178,39	3.069.497,96	9.575.512,36
Grande Produtor	14.423.587,48	47.232.792,67	41.655.078,76	66.776.874,60	170.088.333,51
Total Geral	14.646.964,15	50.721.415,25	44.993.163,98	70.099.128,55	180.460.671,93

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados mostram que o custo de oportunidade total economizado ao longo dos quatro períodos anuais avaliados ultrapassou os R\$ 180 milhões. Quando avaliada a economia gerada relacionada ao deslocamento, verifica-se aumento ao longo do intervalo temporal analisado, passando de 14,6 milhões de reais em 2021 para 70,10 milhões de reais em 2023. Esse aumento ao longo do tempo também ocorreu em todos os portes de produtores rurais, desde o pequeno produtor até o grande produtor, sendo que o custo de oportunidade economizado pelos produtores de porte médio teve o aumento mais substancial de forma que foi por volta de 15 vezes maior em 2023 em comparação ao calculado em 2020.

Com o objetivo de detalhar mais especificamente as informações que compuseram o custo de oportunidade, apresenta-se na Tabela 9 as informações referentes à descrição dos resultados no que concerne ao deslocamento total, renda hora em reais, perda de horas em função do deslocamento e renda que poderia ser obtida com o tempo que seria utilizado em caso de uma assinatura de contrato não digital.

Tabela 9 - Estatística Descritiva dos dados financeiros

	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	C. de Variação	Curtose
Deslocamento Total (em Km)	383,3695	26.479,1519	0,0011	1.426,9656	3,7143	142,25
Renda Hora (em R\$)	2.837,58	53.467,57	-	4.723,91	1,66	10,72
Perda em Horas (deslocamento)	3,83	264,79	0,00	14,24	3,71	142,25
Renda com o tempo (custo de oportunidade em R\$)	12.744,40	2.340.890,50	-	88.198,35	6,92	221,83

Economia de Combustível (média) = R\$ 189,70

Economia de Combustível Total = R\$2.754.136,79

Custo de Oportunidade da Economia de Deslocamento Total – R\$ 180.460.671,93

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados da Tabela 9 indicam que a média do deslocamento total é de 383,37 km, com uma alta variabilidade evidenciada pelo desvio padrão de 1.423,97 km. O valor máximo é bastante elevado (26.479,15 km), sugerindo a presença de outliers ou viagens excepcionalmente longas. A curtose extremamente alta (142,2475) também indica a presença de picos significativos na distribuição dos dados (Tabela 09).

O desvio padrão de 1.426,9656 indica a presença de outliers na base de dados. Isso ocorre porque, no momento da assinatura dos contratos os associados estavam em outros estados ou em outros países. Dessa forma, haveria subsídios razoáveis para inferir que a adoção da assinatura eletrônica/digital permitiu à cooperativa romper a barreira da especificidade locacional, possibilitando o atendimento eficiente aos associados, mesmo quando estes se encontravam distantes da agência com a qual mantêm relacionamento.

Na sequência, as Tabelas 10 e 11, nas próximas páginas, apresentam o resultado financeiro da Cooperativa no período estudado, com a finalidade de fornecer um comparativo com a economia gerada com a redução de combustível e deslocamento.

Tabela 10 - Economia de deslocamento e de combustível x sobras da Cooperativa

Resultado Cooperativa	2020	2021	2022	2023	Total
Sobra Líquida	40.500.746,48	51.495.762,84	72.778.437,49	91.686.165,78	256.461.112,59
Deslocamento	14.647.115,84	50.721.589,53	44.993.363,42	70.099.344,52	180.460.866,43
Combustível	116.799,48	767.393,13	856.616,92	1.013.327,26	2.754.136,79

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados da Tabela 10 apontam que a economia total de combustível apontada para o período analisado é de R\$ 2.754.136,79 reais, representando uma média de R\$ 189,70 por produtor. O custo de oportunidade em relação ao deslocamento evitado totalizou R\$ 180.460.671,93, o que significa dizer que a adoção da assinatura eletrônica/digital gerou uma economia total de R\$ 183.214.808,70.

Tabela 11 - Economia de deslocamento e de combustível x sobras da Cooperativa

Economia gerada	2020	2021	2022	2023	Total
Deslocamento	36,17%	98,50%	61,82%	76,46%	70,37%
Combustível	0,29%	1,49%	1,18%	1,11%	1,07%

Fonte: dados da pesquisa.

Em relação às informações apresentadas na Tabela 11, percebe-se que o deslocamento representou 70% do custo que foi economizado em função da assinatura digital eletrônica. Embora esse dado não represente um resultado financeiro da Cooperativa, os valores impactam de forma significativa os custos dos agricultores.

4.3 Simulação de Monte Carlo

Para aprofundar a análise da economia de combustível e do custo de oportunidade gerado ao produtor rural, foi utilizada a simulação de Monte Carlo. O método modela os possíveis resultados ao empregar distribuições de probabilidade para variáveis com incertezas intrínsecas. Os resultados são recalculados repetidamente em cada interação, introduzindo diferentes conjuntos de números aleatórios dentro dos limites mínimo e máximo estabelecidos, com o objetivo de simular o comportamento de um sistema real.

Foram realizadas 10.000 simulações de Monte Carlo para as variáveis da pesquisa (i) deslocamento total, (ii) renda por hora, (iii) perda em horas e (iv) renda com o tempo (custo de oportunidade) conforme a Tabela 12.

Tabela 12 - Resultado financeiro (Simulação de Monte Carlo)

10.000 Simulações de Monte Carlo	Média	Desvio Padrão	Curtose
Deslocamento Total (em Km)	383,37	1.417,76	-0,047
Renda Hora (em R\$)	2.829,72	4.760,72	-0,034
Perda em Horas (deslocamento)	3,59	14,04	-0,039
Renda com o tempo (custo de oportunidade em R\$)	11.924,69	88.971,25	0,07

Fonte: dados da pesquisa.

A média do deslocamento total é de 383,37 km, indicando que, em média, os deslocamentos esperados são de aproximadamente 383 km. No entanto, o alto desvio padrão de 1.417,76 km sugere uma grande variabilidade nos deslocamentos, com alguns sendo significativamente mais longos que a média. A curtose ligeiramente negativa (-0,047) indica que a distribuição dos dados é um pouco mais achatada que uma distribuição normal, o que sugere menos valores extremos do que uma distribuição normal.

A renda por hora média é de R\$ 2.829,72, sugerindo que, em média, os agricultores ganham esse valor por hora. O desvio padrão de R\$ 4.760,72 indica uma variação considerável nos rendimentos, com alguns indivíduos ganhando muito mais que a média. A curtose negativa (-0,034) sugere que a distribuição dos dados é ligeiramente mais achatada do que uma distribuição normal, indicando menos valores extremos.

A média de perda de tempo devido ao deslocamento é de 3,59 horas, sugerindo que, em média, os agricultores perdem quase 4 horas em deslocamento. O desvio padrão de 14,04 horas revela uma variabilidade significativa, com algumas pessoas perdendo muito mais tempo. A curtose negativa (-0,039) indica que a distribuição dos dados é um pouco mais achatada que uma distribuição

normal, sugerindo menos valores extremos.

A média da renda por hora, representando o custo de oportunidade, é de R\$ 11.924,69, indicando o valor médio perdido em oportunidades devido ao deslocamento. O desvio padrão extremamente alto (R\$ 88.971,25) indica uma grande dispersão nos dados, sugerindo que alguns valores são extremamente altos.

A curtose extremamente baixa ou levemente negativa para todas as variáveis (deslocamento total = -0,047; Renda por hora = -0,034; Perda em horas = -0,039 e renda com o tempo = 0,07) sugere que a distribuição dos dados é um pouco mais achatada que uma distribuição normal, indicando menos valores extremos.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das simulações de Monte Carlo mostram uma alta variabilidade nas variáveis analisadas. As médias fornecem uma boa medida central para cada variável, enquanto os desvios padrão elevados indicam uma significativa dispersão dos dados. As curtoses negativas, embora próximas de zero, sugerem que as distribuições das variáveis são ligeiramente mais achatadas do que a distribuição normal, indicando uma menor frequência de valores extremos. Esses resultados são importantes para entender os impactos econômicos e logísticos associados ao deslocamento e ao custo de oportunidade.

Neste estudo, apurou-se a economia de 1.319,70 quilos de papel relacionados aos contratos do agronegócio formalizados de forma eletrônica/digital, o que representou uma emissão evitada de 0,5622 toneladas de CO₂eq. A economia com a redução do uso de combustível foi de 909,37 toneladas, evidenciando a importância da adoção da assinatura eletrônica/digital como mecanismo de apoio à redução da emissão dos gases de efeito estufa.

Além disso, se analisarmos as economias de emissão de CO₂eq no contexto do mercado de carbono, semelhante ao proposto por Park e Ahn (2017), considerando o valor de €57,03 para cada tonelada de CO₂eq, conforme cotação do

(WORLD BANK GROUP, 2024), tendo como base os valores da União Europeia, que é atualmente o maior mercado de créditos de carbono do mundo, chegaríamos a uma receita de cerca de R\$ 308 mil.

Já a economia com custos de transação levantada nesse estudo, ultrapassou os 2,7 milhões de reais em despesas de combustível. Considerando-se o custo de oportunidade do produtor rural em relação ao seu faturamento/hora, estes custos chegam a mais de 180 milhões de reais. Embora a maioria dos estudos existentes não forneça uma base comparativa direta para esses resultados, o estudo de Zen et al. (2016) apresentou resultados financeiros obtidos a partir da economia de papel.

Assim, este estudo evidenciou a contribuição da adoção da assinatura eletrônica/digital para a transposição da barreira da especificidade locacional que, conforme Williamson (1981), ocorre uma vez que a proximidade entre as firmas de uma mesma cadeia produtiva economiza custos de transporte e armazenagem, gerando retornos específicos. Dessa maneira, contribui-se diretamente à Teoria dos Custos de Transação ao evidenciar que a assinatura digital tende a ser um instrumento que promove benefícios socioambientais para os agentes do setor do agronegócio e para a cooperativa de crédito. Além disso, destaca-se que os valores monetários e materiais economizados tendem a impactar em direção à produção de CO₂, beneficiando indiretamente a sociedade como um todo considerando um mundo em transformação do clima.

Dessa forma, podemos observar que a assinatura eletrônica não apenas moderniza e otimiza processos, mas também transforma a maneira como as empresas operam globalmente, oferecendo benefícios que transcendem as barreiras de especificidade locacional.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou o efeito econômico e ambiental (em termos de redução de CO₂eq), da adoção da assinatura eletrônica em contratos do agronegócio. Como principais resultados,

nota-se que a adoção da assinatura eletrônica/digital resultou em uma redução significativa no uso de papel, eliminando documentos físicos e reduzindo custos associados ao armazenamento, ao mesmo tempo em que apoiou iniciativas de sustentabilidade. Isso reflete o compromisso da cooperativa com práticas mais ecológicas e sustentáveis.

Em termos de contribuições, destaca-se que este estudo proporciona avanços no âmbito teórico e prático. No âmbito teórico, os resultados contribuem diretamente à Teoria dos Custos de Transação ao elucidar que a assinatura eletrônica é um relevante instrumento que promove redução dos custos transacionais dos agentes do agronegócio na obtenção de recursos financeiros junto a cooperativas de crédito. Ressalta-se também que os custos reduzidos devido à adoção da assinatura digital reverberam positivamente no aspecto socioambiental, pois implica significativamente na redução da emissão de CO₂.

Para além disso, em termos práticos, os resultados deste estudo beneficiam diretamente os agentes do setor do agronegócio devido ao fato de reduzir sensivelmente a necessidade de deslocamento até a cooperativa, promovendo uma economia de tempo de trabalho e fortalecendo o conceito de especificidade locacional. Além disso, os resultados desta pesquisa lançam luz aos benefícios gerados pela adoção da assinatura digital à sociedade. Isso ocorre porque a redução de CO₂ associada à implementação da assinatura digital está na direção da atenuação dos efeitos da atividade humana no aquecimento global, a qual promove mudanças substanciais no clima do planeta. Por isso, os resultados obtidos reforçam a importância de implementar outras iniciativas de digitalização na cooperativa, destacando o potencial impacto positivo em instituições financeiras, empresas privadas e órgãos públicos.

Este estudo apresenta algumas limitações, especialmente no que se refere à análise restrita aos contratos de crédito rural e à economia gerada para o produtor. Contudo, a assinatura eletrônica/digital se revelou uma ferramenta

significativa para a inclusão digital, redução de custos e mitigação da emissão de gases de efeito estufa. Diante dessas restrições, recomenda-se que futuras pesquisas ampliem o escopo da análise, abordando áreas como a eficiência da equipe de trabalho, a interação com sistemas complementares e a segurança e conformidade. Além disso, seria relevante explorar o impacto dessa inovação em cooperativas de diferentes portes e setores do agronegócio, bem como investigar sua aplicabilidade em empresas privadas e organizações públicas, a fim de avaliar seu potencial em diversos contextos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. B. V. **Informações contábeis e o risco de insolvência de cooperativas de crédito**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12136/tde-21062011-141251/>. Acesso em: 6 de nov. de 2022.

ARISTOVNIK, A.; RAVŠELJ, D.; MURKO, E. Decoding the Digital Landscape: An Empirically Validated Model for Assessing Digitalization across Public Administration Levels. **Administrative Sciences**, v. 14, n. 3, p. 41, 2024.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). **Cooperativas de crédito crescem e operam em mais da metade dos municípios**. 2023. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/703/noticia>. Acesso em: 08 Mai. 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). **Matriz de Dados do Crédito Rural – Crédito – Concedido**. 2024. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/micrrural>. Acesso em: 23 Mai. 2024.

BARNEY, J. B.; HESTERLY, W. **Economia das organizações: entendendo a relação entre as organizações e a análise econômica**. In C. H. & W. R. N. In S. R. Clegg (Ed.), *Handbook de estudos organizacionais: ação e análise organizacionais* (3ª ed.). São Paulo: Atlas, 2004.

BARROSO, M. F. G. **Distribuição de resultados e desempenho de cooperativas de crédito: estudo comparativo no estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

BHUTANI, S.; PALIWAL, Y. Digitalization: A Step Towards Sustainable Development. **Internacional Journal of Sustainable Development**, v. 8, n. 12, p. 11-24, 2015.

BIALOSKORSKI NETO, S. **Cooperativas: economia, crescimento e estrutura de capital**. Curitiba: OCESP; SESCOOP-PR, 2001.

BORCOȘI, C. A.; BORCOSI, I.; MARIAN, M.; CUSMAN, A.; IONICA, D. Sustainability of Romanian small and medium enterprises using the electronic signature as a driving digital tool. **Sustainability**, v. 15, n. 22, p. 15806, 2023.

BRASIL. Lei n. 4.595, de 31 de dezembro de 1964. Dispõe sobre a Política e as Instituições Monetárias, Bancárias e Creditícias, Cria o Conselho Monetário Nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 31 dez. 1964. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 18 set. 2023.

BRASIL. Lei n. 5.764, de 16 de dezembro de 1971. Define a Política Nacional de Cooperativismo, institui o regime jurídico das sociedades cooperativas, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 16 dez. 1971. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 18 set. 2023.

BRASIL. Lei Complementar n. 130, de 17 de abril de 2009. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Crédito Cooperativo e revoga dispositivos das Leis nos 4.595, de 31 de dezembro de 1964, e 5.764, de 16 de

dezembro de 1971. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 abr. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br> Acesso em: 18 set. 2023.

BRASIL. **LEI Nº 13.874, de 20 de Setembro de 2019**. 2019b. Institui a Declaração de Direitos de Liberdade Econômica. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/l13874.htm. Acesso em: 22 out. 2023.

BRASIL. **Medida Provisória n. 2.200-2, de 24 de agosto de 2001a**. Institui a Infra-Estrutura de Chaves Públicas Brasileira - ICP-Brasil, transforma o Instituto Nacional de Tecnologia da Informação em autarquia, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/mpv/Antigas_2001/2200-2.htm. Acesso em: 20 out. 2023.

CARAFFINI, J. P. T. S. **O papel das capacidades digitais no desempenho das cooperativas de crédito brasileiras**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Controladoria e Contabilidade da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre. p. 133. 2020.

CASTRO, C.; LOPES, C. Digital government and sustainable development. **Journal of the Knowledge Economy**, v. 13, n. 2, p. 880-903, 2022.

CEPEA – **Centro de Estudos Avançados em Pesquisa Aplicada**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx#:~:text=No%20entanto%2C%20as%20baixas%20consecutivas,8%25%20do%20PIB%20do%20Pa%C3%ADs>. Acesso em 09 mai. 2024.

COASE, R. H. The nature of the firm. **Economica**, New Jersey, v. 4, n. 16, p. 386-405, 1937.

COASE, R. H. The institutional structure of production. **The American Economic Review**, vol. 82, nº 4, 1992.

CROTEAU, J. T. **A economia das cooperativas de crédito**. São Paulo: Atlas, 1968.

CUYPERS, I. R.; HENNART, J. F.; SILVERMAN, B. S.; ERTUG, G. Transaction cost theory: past progress, current challenges, and suggestions for the future. **Academy of Management Annals**, v. 15, n. 1, p. 111-150, 2021.

CZELUSNIAK, V. A.; SOUZA, E. A. P. Documentos virtuais como novas tecnologias e os meios de provas nas contratações digitais bancárias/virtual. **Quaestio Iuris**, v. 14, n. 2, p. 929-949, 2021.

DANIELSEN, F. Benefits and challenges of digitalization: An expert study on Norwegian public organizations. In: DG. O2021: The 22nd Annual International Conference on Digital Government Research. 2021. p. 317-326.

DÖHRING, B.; HRISTOV, A.; MAIER, C.; ROEGER, W.; THUM-THYSEN, A. COVID-19 acceleration in digitalization, aggregate productivity growth and the functional income distribution. **International Economics and Economic Policy**, 2021, 18, 571–604.

DONTHU, N.; GUSTAFSSON, A. Effects of COVID-19 on business and research. **Journal of Business Research**, 2020, n. 117, p. 284–289.

EVANGELISTA, R. L. Sustentabilidade um possível caminho para o sucesso empresarial. **Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão**, n. 9, v. 1, p. 85–96, 2017.

FEBRABAN. Pesquisa FEBRABAN de tecnologia bancária 2022. **Tendências em Tecnologia**. v. 1, abr. 2022. Disponível em: https://cmsarquivos.febraban.org.br/Arquivos/documentos/PDF/pesquisa-febraban-2022-vol-1_SE.pdf. Acesso em: 05 jan. 2024.

FREITAS, A. C. O. **Título de crédito eletrônico e agronegócio**. São Paulo: Singular, 2020.

FRIEDLAENDER, G. M. S. **Verificação de assinaturas manuscritas off-line: uma abordagem utilizando modelos estatísticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. p. 117. 1998.

GERCOOP. **Instituto de Formação do Cooperativismo Solidário: capacitação em gerenciamento de cooperativas de crédito GERCOOP**. 4ª ed. Francisco Beltrão: Grafisul Gráfica Editora, 2019.

GERHARD, A. **Governança corporativa em uma cooperativa de crédito: percepções de coordenadores e colaboradores**. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC). Curitiba, 2016.

GONÇALVES, C. S. **Uma contribuição à estruturação dos procedimentos e demonstrações contábeis das cooperativas: aplicação em uma cooperativa de trabalho**. 2003. 179 f. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

HOFACKER, Charles F. et al. E-services: a synthesis and research agenda. **Journal of Value Chain Management**, v. 1, n. 1/2, p. 13-44, 2007.

INFRAESTRUTURA DE CHAVES PÚBLICAS BRASILEIRA (ICP). **Visão geral sobre assinaturas digitais na ICP-BRASIL: DOC-ICP-15 – Versão 3.0**, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/iti/pt-br/central-de-conteudo/doc-icp-15-v-3-0-visao-geral-sobre-assin-dig-na-icp-brasil-pdf>. Acesso em: 14 set. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Veículos Automotivos (PBE veicular)**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular>. Acesso em: 09 fev. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO (ITI). **ITI em números**. Brasília, DF, [s.d.]b., 2023.

ÍSKENDER, G. **Analysis of electronic signature in Turkey from the legal and economic perspectives and the awareness level in the country**. 2006. Dissertação (Mestrado). Middle East Technical University. Disponível em: <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/16270>. Acesso em: 05 jan. 2024.

LEIKUMS, T. **A study on possibilities of electronic document circulation in public sector for rural development**. In: Conference proceedings. 2013. p. 187-196.

LIU, M.; LI, S.; LI, Y.; SHI, J.; BAI, J. Evaluating the synergistic effects of digital economy and government

- governance on urban low-carbon transition. **Sustainable Cities and Society**, v. 105, p. 105337, 2024.
- MEDAGLIA, R.; MISURACA, G.; AQUARO, V. Digital government and the united nations' sustainable development goals: towards an analytical framework. In: **DG. O2021: The 22nd annual international conference on digital government research**. 2021. p. 473-478.
- MELLO, F. O. T.; PAULILLO, L. F.. Análise do alinhamento entre os atributos das transações e as formas de governanças empregadas na citricultura. **Gestão & Produção**, v. 16, p. 679-690, 2009.
- MENEZES, A. Cooperativa de crédito: o que é e quais seus benefícios. Brasília, DF: Stilo, 2004.
- MENKE, F. Assinaturas Digitais, certificados digitais, infra-estrutura de chaves públicas brasileira e a ICP alemã. **Revista de Direito do Consumidor**, v. 12, n. 48, p. 17, 2003.
- MIRANDA, J. **Contratos eletrônicos – princípios, condições e validade**, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/2zDIMUV>. Acesso: 05 jan. 2024.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 Set. 2023.
- PARK, J.; AHN, T. An Analysis of Installation of Railway Construction Project Management System on Carbon Reduction. **Journal of the Korean Society for Railway**, v. 20, n. 3, p. 382-388, 2017.
- PEREIRA, A. C. **Contribuição à análise e estruturação das demonstrações financeiras das sociedades cooperativas brasileiras**. 1993. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- PINHEIRO, P. P. **Direito digital**. 6ª edição. Editora Saraiva, 2016.
- QUINTAM, Carlos Paim Rifan; ASSUNÇÃO, Gerfison Maico. Panorama do agronegócio exportador brasileiro. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 7, p. e473642-e473642, 2023.
- RICCIARDI, L. **Cooperativismo: uma solução para os problemas atuais**. Brasília, DF: OCB, 1990.
- SANTOS, A.; GOUVEIA, F. H. C.; VIEIRA, P. S. **Contabilidade das sociedades cooperativas: aspectos gerais e prestação de contas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- SCHREIBER, Anderson. **Manual de direito civil contemporâneo**. Editora Saraiva Educação, 2018.
- SEPASHVILI, E. Digital chain of contemporary global economy: e-commerce through e-banking and e-signature. **Economia Aziendale**, 11, 239–249, 2020.
- SILVA, N. L.; UEHARA, M. A evolução da tecnologia digital: seus impactos no setor bancário. Enciclopédia Biosfera, **Centro Científico Conhecer**, v. 16, n. 29, p. 2241-2256, 2019.
- SOUSA, L. P. Cooperativismo: conceitos e desafios à implantação da economia solidária. **Vitrine da Conjuntura**, v. 2, n. 2, abr. 2009.

SOUSA NETO, J. A.; REIS, D. A. Os impactos da governança corporativa em uma cooperativa de crédito. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 211-234, 2015.

SOUZA, L. F.; REZENDE, S. R. G. Benefícios do uso da certificação digital para pessoa física e jurídica na informatização de processos. **Revista Mirante** (ISSN 1981-4089), v. 16, n. 2, p. 289-306, 2023.

TAYLOR, R. A. Credit unions and cooperative banking in developed and developing countries. **Annals of Public and Cooperative Economics**, v. 45, n. 2, p. 105-118, 1974.

TITOV, V.; SHUST, P.; DOSTOV, V.; LEONOVA, A.; KRIVORUCHKO, S.; LVOVA, N.; GUZOV, I.; VASHCHUK, A.; POKROVSKAIA, N.; BRAGINETS, A. Digital transformation of signatures: suggesting functional symmetry approach for loan agreements. **Computation**, v. 10, n. 106, 2020.

VASCONCELLOS, A. C.; ALVES, N. L.; RAMOS, R. A. Validade dos contratos eletrônicos firmados com instituições financeiras: repercussão econômica e teorema de coase. **Boletim Economia Empírica**, v. 1, n. 4, 2020.

VASSILADOU S.; BOUTAKIDIS D. Adoção de TIC na gestão agrícola, como meio de implementação da governação agrícola. In: Klinger K. (ed) *Informática Agrícola e Ambiental, Governança e Gestão*, 2011.

WANG, J.; DONG, K.; REN, X. Is the spatial impact of digital financial inclusion on CO2 emissions real? A spatial fluctuation spillover perspective. **Geoscience Frontiers**, p. 101656, 2023.

WILLIAMSON, O. E. **The Economic Institutions of Capitalism: firms, markets and relational contracting**. New York: The Free Press, 1985.

WILLIAMSON, O. E. Comparative economic organization: the analysis of discrete structural alternatives. **Administrative Science Quarterly**, v. 36, n. 2, p. 269-296, Jun. 1991.

YULIANTO, Y.; RAMADIANI, R.; KRIDALAKSANA, A. H. Penerapan formula haversine pada sistem informasi geografis pencarian jarak terdekat lokasi lapangan futsal. **Inform. Mulawarman J. Ilm. Ilmu Komput**, v. 13, n. 1, p. 14, 2018.

ZEN, I. S.; SUBRAMANIAM, D.; SULAIMAN, H.; SALEH, A. L.; OMAR W.; SALIM, M. R. Institutionalize waste minimization governance towards campus sustainability: A case study of Green Office initiatives in Universiti Teknologi Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 1407-1422, 2016.

ZHAO, S.; TENG, L.; VINCENT, E. A.; HU, H. Impacts of digital government on regional eco-innovation: moderating role of dual environmental regulations. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 196, p. 122842, 2023.

WORLD BANK GROUP. **State and trends of carbon pricing dashboard: carbon pricing instruments around the world**. Disponível em: Carbon Pricing Dashboard | Up-to-date overview of carbon pricing initiatives (worldbank.org) Acesso em: 10 jul. 2024.