

**CARBONOSEGURADO: SOFTWARE PARA GESTÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS
NO MERCADO DE CARBONO AGRÍCOLA**

por

VAGNER PINTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Rio Verde – GO

Junho – 2025

**CARBONOSEGURADO: SOFTWARE PARA GESTÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NO
MERCADO DE CARBONO AGRÍCOLA**

por

VAGNER PINTO

Orientação:

Prof. Dr. TAVVS MICAEL ALVES

Co-orientação:

Prof. Dr. GUSTAVO CASTOLDI

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Vagner Pinto

Matrícula:

2022202331540003

Título do trabalho:

CARBONOSSEGURADO: SOFTWARE PARA GESTÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NO MERCADO DE CARBONO AGRÍCOLA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde

Local

02 / 07 / 2025

Data

Documento assinado digitalmente

gov.br

VAGNER PINTO

Data: 02/07/2025 18:08:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinado digitalmente por Dr. Tavvs
Micael Alves
DN: cn=Dr. Tavvs Micael Alves, c=BR,
o=IF Goiano - Campus Rio Verde,
ou=Campus Rio Verde, email=tavvs.alves@ifgoiano.edu.br

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 39/2025 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA Nº 111 (CENTO E ONZE)
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e sete dias do mês de março do ano de dois mil e vinte e cinco, às 08h (oito horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência na plataforma Meet, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de VAGNER PINTO, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Tavvs Micael Alves, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até 60 (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora entende que a tradicional publicação científica em periódicos de circulação nacional e/ou internacional poderá ser substituída pelo modelo combinado de depósito de software, marca e dissertação completa em modelo institucional. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Tavvs Micael Alves	IF Goiano – Campus Rio Verde	Presidente
Gustavo Castoldi	IF Goiano – Polo de Inovação	Membro interno
Mauricio Cherubin	Universidade de São Paulo - Esalq	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Tavvs Micael Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 02/07/2025 13:34:54.
- **Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 02/07/2025 14:10:54.
- **Maurício Roberto Cherubin, Maurício Roberto Cherubin - 2343 - PROFESSORES DE ARQUITETURA E URBANISMO; ENGENHARIA; GEOFÍSICA E GEOLOGIA DO ENSINO SUPERIOR - Universidade de São Paulo (63025530000104)**, em 02/07/2025 15:20:55.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/07/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 722181

Código de Autenticação: 183ec9f97f



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Importância dos Créditos de Carbono	6
2.2. Mercado de Créditos de Carbono	10
2.3. Oportunidades e Desafios na Integração de Créditos de Carbono na Agricultura	12
2.4. Modelos de Negócios para Startups de Créditos de Carbono	13
2.5. Requisitos Técnicos e Operacionais	15
2.6. Aspectos Regulatórios e Legais	17
2.7. Implementação de Projetos de Carbono no Brasil	19
2.8. Práticas Agrícolas Sustentáveis e Sequestro de Carbono	20
2.9. Métodos de Quantificação de Carbono na Agricultura	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Levantamento de Informações Científicas	25
3.2. Soluções Existentes para Agricultura de Baixo Carbono	25
3.6. Desenvolvimento do Produto Mínimo Viável (MVP): CarbonoSegurado	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Elaboração de Produto Mínimo Viável: CarbonoSegurado	34
4.1.1. Telas do Produto Mínimo Viável	35
4.1.1. Semelhanças entre CarbonoSegurado e demais plataformas	39
4.1.2. Diferenciais da Plataforma CarbonoSegurado	40
4.1.3. Definição de Identidade Visual de CarbonoSeguro	40
5 CONCLUSÃO	42
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

CARBONOSEGURADO: SOFTWARE PARA GESTÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS
NO MERCADO DE CARBONO AGRÍCOLA

por

VAGNER PINTO

(Sob Orientação do Professor Prof. Dr. Tavvs M. Alves – IF Goiano, Campus Rio Verde)

RESUMO:

Informações científicas e comerciais foram integradas para o desenvolvimento de um produto mínimo viável de um software que apoia produtores na gestão de práticas sustentáveis. O registro de práticas como manejo do solo, rotação de culturas, uso de adubos orgânicos, manutenção de palhada está associado, por exemplo, à elegibilidade de propriedades rurais regenerativas para pagamentos no mercado de carbono. O software CarbonoSegurado permite o cadastro de áreas agrícolas, registro de práticas de manejo sustentável, visualização de dados relacionados, possibilidade de emitir relatórios de conformidade de certificação e oferece um módulo para incluir conteúdos de treinamento e consultoria. Desta forma, a CarbonoSegurado pode ajudar o agricultor a produzir de forma mais sustentável, garantindo que suas práticas contribuam para a saúde do solo, a produtividade das lavouras e a mitigação das mudanças climáticas. Com o mercado de carbono em expansão, essa plataforma se torna uma aliada importante para quem quer se preparar para o futuro, garantindo uma agricultura mais resiliente e lucrativa.

Palavras-chave: programa de computador, MVP, agricultura regenerativa, sustentabilidade, descarbonização.

CARBONOSEGURADO: SOFTWARE FOR MANAGING SUSTAINABLE PRACTICES IN
THE AGRICULTURAL CARBON MARKET

BY

VAGNER PINTO

(Under the guidance of Professor Prof. Dr. Tavvs M. Alves – IF Goiano, Rio Verde Campus)

ABSTRACT:

Scientific and commercial information was integrated to develop a minimum viable product (MVP) of a software that supports farmers in managing sustainable agricultural practices. The recording of practices such as soil management, crop rotation, use of organic fertilizers, and maintenance of crop residues is associated, for example, with the eligibility of regenerative farms for payments in the carbon market. The CarbonoSegurado software enables the registration of agricultural areas, documentation of sustainable management practices, visualization of related data, the ability to generate certification compliance reports, and includes a module for training and consultancy content. In this way, CarbonoSegurado can help farmers produce more sustainably, ensuring their practices contribute to soil health, crop productivity, and climate change mitigation. With the carbon market expanding, this platform becomes an important ally for those looking to prepare for the future, ensuring more resilient and profitable agriculture.

Keywords: sustainable agriculture, soil management, digital platform, decarbonization, best practices.

1. INTRODUÇÃO

Os créditos de carbono são fundamentais para a redução dos gases de efeito estufa e para a mitigação do aquecimento global. Desde seu estabelecimento no Protocolo de Kyoto de 1997, os créditos de carbono têm se mostrado uma ferramenta de incentivo à redução de emissões, promovendo práticas sustentáveis e inovação (SILVA, 2024). A estruturação do mercado de carbono no Brasil foi fortalecida com a promulgação da Lei nº 15.042/2024, que estabelece diretrizes para a regulamentação do Sistema Brasileiro de Redução de Emissões (SBRE). Essa legislação, alinhada aos compromissos internacionais assumidos no Acordo de Paris, visa criar um ambiente seguro para a comercialização de créditos de carbono, incentivando a transição para uma economia de baixo carbono (BRASIL, 2024). O Acordo de Paris de 2015 reforça o compromisso global em limitar o aumento da temperatura, sublinhando a importância dos créditos de carbono neste esforço internacional (SANTOS & SOUSA, 2024).

O mercado global de créditos de carbono é robusto, circulando US\$ 1 bilhão em 2021 com a expectativa de US\$ 50 bilhões em 2030, incentivando investimentos em setores como energia renovável, reflorestamento e agropecuária sustentável (ICC BRASIL, 2022). O setor privado é um dos propulsores deste mercado, com diversas empresas buscando cumprir metas de sustentabilidade e melhorar sua imagem pública. Organizações certificadoras desempenham um papel vital ao verificar e garantir a autenticidade dos créditos de carbono, conferindo confiança aos investidores e assegurando a transparência do mercado. A variação na precificação dos créditos é influenciada por fatores como oferta e demanda, regulamentações governamentais e eventos climáticos, refletindo a complexidade do mercado (MARRA et al., 2023).

A agricultura sustentável se destaca ao adotar práticas que aumentam a capacidade do solo de sequestrar carbono, diminuindo as emissões e promovendo a conservação dos recursos naturais (ARAÚJO & ABBADE, 2021). Práticas agrícolas sustentáveis, como plantio direto e rotação de culturas, têm um impacto significativo no sequestro de carbono do solo. Isso melhora a

qualidade do solo e contribui para a mitigação das mudanças climáticas. Técnicas como integração lavoura-pecuária-floresta, redução de agrotóxicos e recuperação de áreas degradadas são essenciais para a retenção de carbono, fortalecendo a resiliência dos ecossistemas (REISCH, 2021). A infraestrutura adequada para monitoramento, verificação e reporte (MRV) é um dos desafios para a integração dos créditos na agricultura, juntamente com a capacitação dos agricultores e a superação de barreiras econômicas, culturais e sociais (CARMO, 2023).

A implementação de tecnologias modernas, como imagens de satélite e drones, desempenha um papel crucial no monitoramento de mudanças no uso do solo e na cobertura vegetal. Essas ferramentas permitem a coleta de dados precisos e em tempo real, essenciais para a gestão sustentável dos recursos naturais e a verificação de práticas agrícolas que promovem a conservação do solo e o aumento do estoque de carbono (MASSRUHÁ et al., 2020). Os créditos de carbono oferecem oportunidades significativas, incentivando práticas sustentáveis através de incentivos financeiros e técnicos e promovendo a colaboração com instituições de pesquisa e organizações não-governamentais. Entretanto, a volatilidade dos preços e a falta de regulação adequada podem desmotivar a participação de investidores e agricultores (SANTOS et al., 2023).

Modelos de negócio sustentáveis, como plataformas de negociação e serviços de consultoria, desempenham um papel crucial ao conectar produtores e consumidores, promovendo a sustentabilidade e a transparência nas transações. Soluções de MRV integradas garantem a precisão dos dados ambientais e sociais, essenciais para tomadas de decisão informadas. Esses modelos de negócio sustentáveis também proporcionam benefícios econômicos aos agricultores, abrindo novos mercados e fortalecendo economias locais. A conexão entre agricultores sustentáveis e investidores é fundamental para financiar práticas agrícolas sustentáveis e expandir projetos que conservam o meio ambiente.

Startups desempenham um papel significativo na transição para uma economia verde, oferecendo soluções inovadoras e promovendo uma cultura empresarial sustentável. Elas geram novas oportunidades de emprego e impulsionam redes de benefícios ampliadas, englobando

parcerias estratégicas e cooperação entre diversos atores (PEREIRA, 2021). Por fim, é evidente que modelos de negócio sustentáveis, e a conexão entre agricultores e investidores e o papel das startups são elementos fundamentais na busca por um desenvolvimento mais sustentável e equitativo. Esses modelos proporcionam benefícios sociais e ambientais, fomentando práticas responsáveis e promovendo um impacto positivo no combate às mudanças climáticas (SILVA, 2023).

O objetivo deste trabalho foi a estruturação de um produto mínimo viável de um software para o monitoramento de práticas sustentáveis voltadas ao sequestro de carbono em áreas produtoras de soja e milho. Esta dissertação combina elementos científicos e análises de mercado, startups e desenvolvimento de software (similar ao modelo de treinamento que está sendo adaptado pelo orientador para os mestrados profissionais, como no caso de Ruwer 2023). Nosso principal foco não foi a submissão de artigos científicos a periódicos de alto impacto, mas sim a aplicação prática e o potencial empreendedor do projeto, que pode levar à criação de uma eventual *spin-off* com produto validado. Os principais produtos tecnológicos gerados incluem:

1. Código-fonte do software com as telas descrevendo as informações registradas para gestão de práticas sustentáveis, com previsão de depósito no INPI;
2. Previsão de depósito de marca no INPI;
3. Dissertação completa, formatada conforme os padrões institucionais.

É importante destacar que o software CarbonoSegurado não se propõe, neste estágio, a realizar cálculos definitivos de créditos de carbono, mas sim a funcionar como uma ferramenta de registro estruturado de práticas agrícolas sustentáveis adotadas pelos produtores. O objetivo principal do MVP é validar a utilidade da plataforma como apoio à organização e rastreabilidade de informações técnicas necessárias em processos de certificação e adesão a programas voluntários. Portanto, a proposta não possui ambição de ser uma solução final ou certificadora, mas sim de viabilizar testes e coletas de feedback junto a usuários reais para orientar futuros aprimoramentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância dos Créditos de Carbono

Os créditos de carbono são importantes para a diminuição dos gases de efeito estufa e consequente mitigação do aquecimento global. Ao longo das últimas décadas, os créditos de carbono têm se destacado como uma ferramenta crucial nesse cenário, ganhando cada vez mais relevância no contexto internacional (LUIZ et al., 2024). Compreender o contexto e a relevância dos créditos de carbono é fundamental para perceber como funcionam, sua história, potencial de mercado e a sua influência na mitigação do aquecimento global (SILVA, 2024).

Os créditos de Carbono são unidades representativas da redução ou remoção de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) da atmosfera. Esses créditos podem ser comercializados em mercados regulados ou voluntários, funcionando como instrumentos financeiros que incentivam a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (IPCC, 2021). A métrica CO₂e (dióxido de carbono equivalente) permite comparar o impacto climático de diferentes gases de efeito estufa (GEE), convertendo-os com base em seu Potencial de Aquecimento Global ao longo de 100 anos (GWP-100). A padronização é essencial para contabilizar corretamente as emissões e remoções em projetos de crédito de carbono, tanto no contexto agrícola quanto em outros setores da economia (IPCC, 2021). Os valores de GWP-100 – IPCC AR4 (que ainda é amplamente usado por certificadoras como Verra):

Gás	GWP-100 (AR4)	Interpretação
CO ₂	1	Referência
CH ₄ (metano)	25	1 tonelada de CH ₄ = 25 tCO ₂ e
N ₂ O (óxido nitroso)	298	1 tonelada de N ₂ O = 298 tCO ₂ e

A história dos créditos de carbono remonta à década de 1970, quando cientistas e pesquisadores começaram a alertar sobre os perigos das mudanças climáticas (Fig. 1). Foi somente em 1997, com a assinatura do Protocolo de Kyoto, que os créditos de carbono foram formalmente estabelecidos como uma ferramenta para combater as emissões de gases de efeito estufa. Desde então, têm desempenhado um papel crucial na redução das emissões em todo o mundo, incentivando

a inovação e práticas sustentáveis (SANTOS & SOUSA, 2024). O surgimento dos créditos de carbono como ferramenta crucial no combate às mudanças climáticas coincide com a crescente preocupação global com as emissões de gases de efeito estufa. Com a implementação do Protocolo de Kyoto e a criação do mercado de carbono, os créditos de carbono se tornaram um mecanismo vital para incentivar a redução de emissões, ao mesmo tempo em que oferecem oportunidades econômicas para países e empresas (ROCHA, 2020).

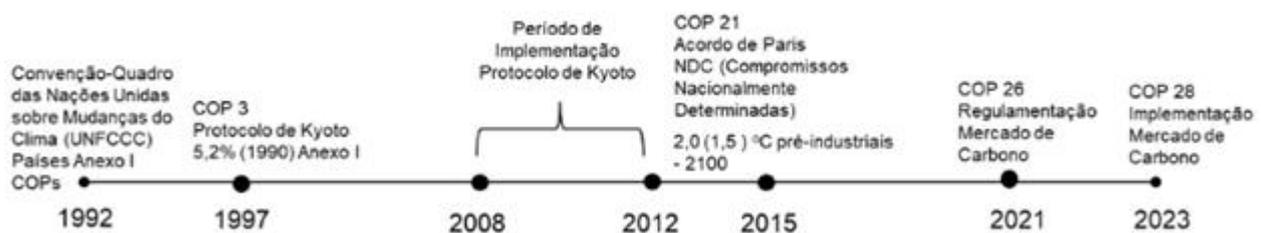


Figura 1. Linha do tempo do mercado de carbono. Fonte: Adaptada de Roscoe (2023).

Os créditos de carbono funcionam por meio de mecanismos de mercado, como o Comércio de Emissões, em que empresas podem comprar e vender créditos de carbono de acordo com suas emissões. Além disso, os mecanismos de projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), por exemplo, permitem que países em desenvolvimento realizem projetos que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e gerem créditos de carbono negociáveis (MINARDI et al., 2022; SOUZA, 2023).

O Acordo de Paris, assinado por vários países em 2015, estabelece compromissos para limitar o aumento da temperatura global, visando reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Esse acordo internacional reflete a urgência e a importância de ações coletivas para enfrentar as mudanças climáticas e seus efeitos prejudiciais (ARAÚJO & ABBADE, 2021).

A agricultura de carbono integra árvores, culturas e gado, podendo aumentar o sequestro de carbono e ajudar a mitigar as alterações climáticas globais (GOMES & CARDOSO, 2021). As práticas agrícolas de carbono podem reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, melhorar a

saúde do solo e aumentar o rendimento dos agricultores, mas enfrentam desafios como custos, requisitos de recursos e variabilidade na eficácia (LOPES, 2023). O efeito de transbordamento espacial, que se refere à transferência de emissões de um local para outro devido a atividades econômicas, tem impactos significativos nas emissões de carbono agrícola (TELLES et al., 2021).

Estudos e projetos científicos estão contribuindo para o entendimento e adesão às práticas sustentáveis, mostrando eficácia em reduzir as emissões de carbono na agricultura. Qin & Liu (2023) mostram que o crédito verde tem um efeito inibitório significativo nas emissões de carbono agrícola. Além disso, o estudo revela que o crédito verde pode suprimir indiretamente as emissões de carbono agrícola promovendo a inovação em tecnologia verde agrícola. Este trabalho apresenta recomendações de políticas para o desenvolvimento do crédito verde e a redução das emissões de carbono agrícola.

O Brasil estabeleceu linhas de crédito preferenciais para financiar investimentos em sistemas agrícolas integrados de baixo carbono de lavoura, pecuária e silvicultura (OBSERVATÓRIO ABC, 2015). Carauta (2018) fez uma avaliação empírica baseada em simulação da adoção de sistemas integrando duas culturas altamente mecanizadas de soja-algodão e soja-milho. Empregaram modelagem bioeconômica para capturar explicitamente a heterogeneidade dos custos e benefícios da adoção no nível da fazenda. Ao parametrizar e validar as simulações com dados empíricos e experimentais, definiram a eficácia do crédito de Integração ABC por meio de indicadores como mudança no uso da terra, taxas de adoção e custos orçamentários da provisão de crédito. Esses resultados podem acelerar a difusão de sistemas agrícolas de baixo carbono.

Bernacchi, Hollinger & Meyers (2005) mediram o fluxo de carbono (C) em um ecossistema agrícola de milho/soja de plantio direto ao longo de 6 anos. Acoplaram as estimativas de liberação de C associadas às práticas agrícolas para avaliar a produtividade líquida do bioma (NBP) deste ecossistema de plantio direto. Estimativas de NBP também foram calculadas para o ecossistema de milho/soja cultivado convencionalmente, assumindo que a troca líquida do ecossistema é neutra em C. Essas análises mostraram que a agricultura atual de milho/soja nos EUA libera ~7,2 toneladas (tons) de C anualmente, com o plantio direto sequestrando ~2,2 tons de C e o

plantio convencional libera ~9,4 tons de C. A conversão completa da área de terra para plantio direto poderia resultar em 21,7 tons de C sequestrados anualmente, representando uma diferença líquida de fluxo de 29 tons de C. Esses resultados demonstram que a conversão em larga escala para práticas de plantio direto, pelo menos para o ecossistema de milho/soja, poderia potencialmente compensar cerca de 2% das emissões anuais de carbono dos EUA.

O mercado dos créditos de carbono oferece a oportunidade para as empresas e países compensarem suas emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a crescente conscientização sobre a importância da sustentabilidade tem impulsionado a demanda por créditos de carbono, abrindo novas oportunidades de negócios e investimentos em setores como energia renovável, reflorestamento, eficiência energética e agropecuária (BARROSO & MELLO, 2020). Os créditos de carbono na agricultura referem-se à representação de uma unidade de redução de emissões de gases de efeito estufa (1 tonelada de CO₂ equivalente) que pode ser negociada no mercado. Isso impulsiona a demanda por soluções que mitigam emissões devido a preocupações globais e compromissos internacionais, como o Acordo de Paris (SILVA, 2024).

As organizações certificadoras desempenham um papel crucial no mercado de créditos de carbono, sendo responsáveis por verificar as práticas de sequestro de carbono e garantir a autenticidade dos créditos. Elas atuam como um selo de qualidade, conferindo confiança aos compradores e investidores. Além disso, as organizações verificadoras têm a tarefa de avaliar e certificar os projetos de redução de emissões, assegurando que estão alinhados com as normas e regulamentos estabelecidos. Sua atuação é fundamental para assegurar a transparência e segurança no mercado de créditos de carbono.

O Sistema de Comércio de Emissões ou, em inglês, *Emission Trading System* (ETS) têm mostrado eficácia na promoção do crescimento econômico e na redução das emissões, especialmente em países emergentes como China e Índia. Este sistema incentiva investimentos em tecnologias de baixa emissão e práticas de produção mais sustentáveis. Na China, o preço dos direitos de emissão aumentou significativamente em 2022, refletindo a política governamental de transição para uma economia mais verde. Este aumento é esperado para continuar impulsionando mudanças no cenário

econômico global. Em 2023, o segmento de carbono regulado dominou, representando 98,80% do mercado. Empresas compram créditos de projetos aprovados que ajudam a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Diversos países implementam políticas exigindo que empresas compensem suas emissões, o que promove o crescimento do mercado e incentiva investimentos em tecnologias de baixa emissão (GRAND VIEW RESEARCH INC., 2024). Os projetos de créditos de carbono se dividem em eliminação/sequestro e prevenção/redução, com os últimos representando 66,45% do mercado em 2023.

2.2. Mercado de Créditos de Carbono

O mercado de créditos de carbono está expandindo rápido e com maior participação do setor privado. Empresas de diversos setores estão cada vez mais interessadas em participar desse mercado, contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e buscando cumprir suas metas de sustentabilidade (TESTI, 2023). As empresas privadas têm se motivado cada vez mais a cumprir metas de sustentabilidade, buscando contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa. Além disso, o cumprimento dessas metas está diretamente relacionado à reputação e imagem da empresa, sendo uma forma de mostrar comprometimento com práticas ambientalmente responsáveis e de atender à demanda crescente dos consumidores por marcas sustentáveis (OLIVEIRA, 2023).

A variação na precificação dos créditos de carbono é influenciada pela oferta e demanda no mercado, além da qualidade das práticas de sequestro de carbono. Outros fatores que impactam a precificação incluem as regulamentações governamentais, a atividade econômica e até mesmo eventos climáticos extremos. Essa flutuação de preço reflete a dinâmica do mercado e a complexidade da mitigação das emissões de carbono, demonstrando a importância de uma compreensão abrangente dessas influências para os participantes do mercado (VARGAS et al., 2022)

O mercado mundial de créditos de carbono, avaliado em 479.410 milhões de dólares em 2023, com uma taxa de crescimento anual projetada de 39,4% até 2030 (Fig. 2a). Esse crescimento

é impulsionado por sistemas de limitação e comércio (políticas governamentais) e empresas sujeitas a compromissos de reduzir as emissões de GEE. Algumas empresas possuem cotas de emissão máxima de GEE e fazem parte do mercado regulado (FONSECA, 2022). Além dos programas regulados, existem mercados voluntários em que empresas adquirem créditos de carbono para mitigar suas emissões, mesmo sem imposição legal (Fig. 2b). Contudo, o mercado enfrenta desafios, como a volatilidade dos preços dos créditos, que dificulta o planejamento a longo prazo das empresas e pode limitar o incentivo financeiro para reduzir emissões (GRAND VIEW RESEARCH INC., 2024).

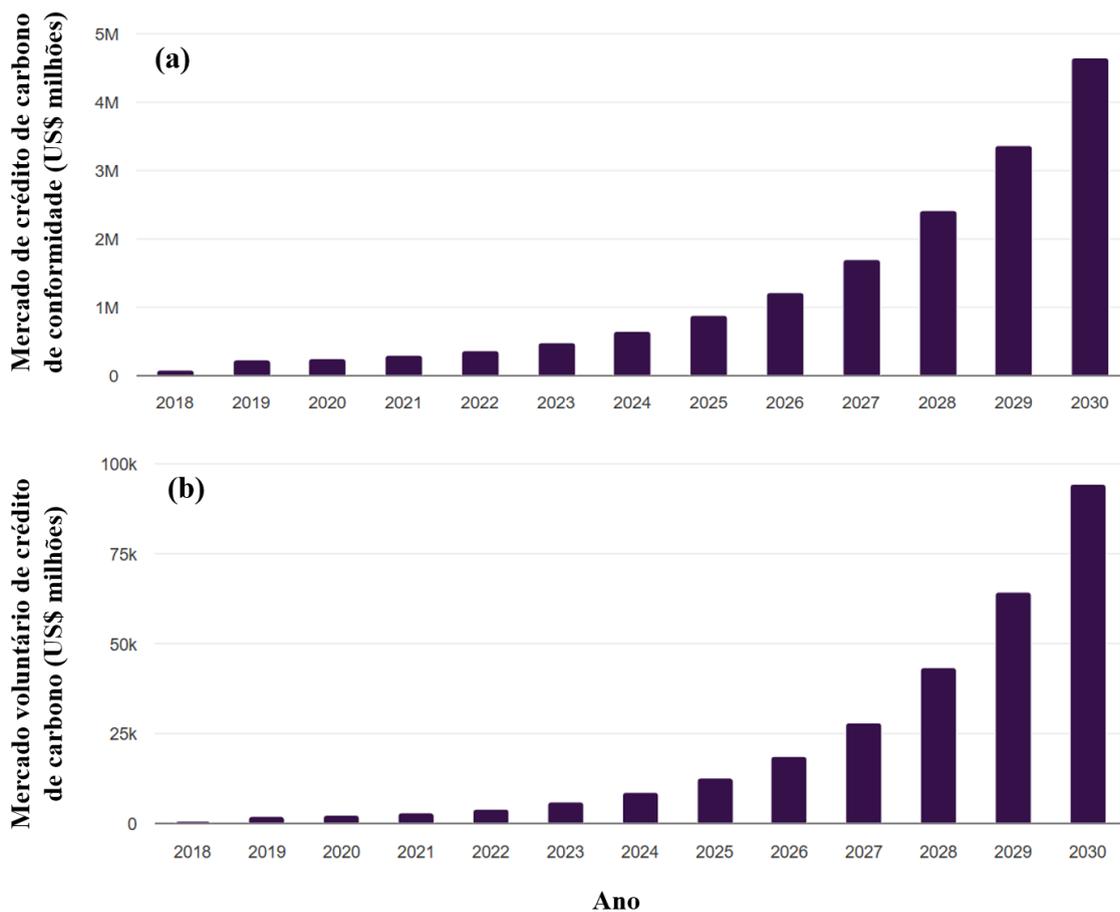


Figura 2. Evolução do mercado global de créditos de carbono entre 2018 e 2030 em milhões de dólares (a), mercado global de créditos mercado voluntário de carbono (b). Fonte: Adaptado de Grand View Research (2024).

A nível mundial, o mercado de créditos de carbono gerou receita de USD 479.407 milhões em 2023. Espera-se que o mercado cresça em uma taxa de crescimento anual (CAGR) de 38,7%, com receita de US\$ 50 bilhões em 2030. A Europa representará a maior participação nos

ingressos do mercado de créditos de carbono. Embora o mercado norte-americano ainda seja menor que o europeu, os Estados Unidos devem contribuir de forma relevante na redução das emissões de GEE. A Índia aprovou um Projeto de Lei de Conservação de Energia em 2022 e também vem facilitando a criação de mercados de créditos de carbono.

Na América Latina, espera-se que o mercado de créditos de carbono atinja um volume de investimentos projetado de US\$ 24.145 milhões até 2030. Espera-se uma taxa de crescimento anual de 39,5% no mercado de créditos de carbono da América Latina entre 2024 e 2030. O mercado de bônus de carbono da América Latina gerou ingressos de USD 2.353 milhões em 2023. O segmento de produtos voluntários é o mais lucrativo e registra o crescimento mais rápido.

O mercado de créditos de carbono do Brasil foi o maior contribuinte para os ingressos na América Latina em 2023. No Brasil, espera-se que o mercado de créditos de carbono atinja um ingresso projetado de US\$ 16.809 milhões para 2030. Espera-se uma taxa de crescimento anual composta de 38,8% do mercado de créditos de carbono do Brasil entre 2024 e 2030. O mercado de créditos de carbono do Brasil gerou receitas de US\$ 1.697 milhões em 2023. Antecipa-se que o mercado crescerá em um CAGR de 38,8% entre 2024 e 2030.

2.3. Oportunidades e Desafios na Integração de Créditos de Carbono na Agricultura

Adotar práticas sustentáveis, como a implementação de sistemas agroflorestais e a redução do desmatamento, podem ser impulsionadas por incentivos financeiros e técnicos. Tais incentivos tornam a transição para uma agricultura de baixo carbono mais atrativa. Parcerias com instituições de pesquisa, organizações não-governamentais (ONGs) e órgãos governamentais podem ajudar a superar as barreiras existentes, promovendo a adoção em larga escala e impulsionando a sustentabilidade na agricultura (JÚNIOR et al., 2024; SILVA, 2024). Por outro lado, existem barreiras econômicas significativas como a falta de incentivos financeiros e custo inicial elevado de implementar e manter tecnologias verdes (CHAVES et al., 2020).

A integração de créditos de carbono na agricultura necessita adequada infraestrutura para MRV. A carência de infraestrutura tecnológica adequada impede a coleta e análise precisas dos

dados necessários para a certificação dos créditos de carbono. Investir em pesquisa e desenvolvimento para criar tecnologias de baixo custo e fácil acesso é crucial. A implementação de plataformas digitais que integrem dados de diferentes fontes pode simplificar o processo de MRV, facilitando a adoção em larga escala dessas práticas (SANTOS et al., 2023).

A educação e capacitação dos agricultores representam outro desafio significativo. Muitos agricultores carecem de conhecimento sobre práticas sustentáveis e sobre como participar do mercado de carbono de forma eficiente e produtiva (MINARDI et al., 2022). Fatores culturais, como a resistência à mudança e hábitos arraigados, podem atrasar a implementação de práticas sustentáveis. A desinformação e a falta de conscientização sobre os benefícios econômico-ambientais dos créditos de carbono também contribuem para a resistência. Investir em programas de educação e treinamento que visem tanto agricultores quanto comunidades rurais é essencial para superar essas questões. A promoção de campanhas de sensibilização pode ajudar a alterar percepções e encorajar a adoção de novas práticas, alinhando interesses econômicos a objetivos ambientais (SANTOS et al., 2023).

A volatilidade dos preços pode impactar negativamente a rentabilidade dos projetos de crédito de carbono na agricultura. Flutuações bruscas nos preços podem gerar incerteza e desmotivar investidores e agricultores a se engajarem nesses projetos. Sem previsibilidade nos preços, torna-se difícil planejar e garantir a viabilidade econômica a longo prazo (CARMO, 2023). Outro risco considerável é a falta de regulação adequada. A ausência de normas claras e eficientes pode criar um ambiente de insegurança jurídica, desincentivando a participação de agricultores e investidores no mercado de carbono. Sem uma estrutura regulatória robusta, é difícil assegurar a transparência e a confiança necessárias para o funcionamento eficiente do mercado (CARMO, 2023).

2.4. Modelos de Negócios para Startups de Créditos de Carbono

Os modelos de negócios sustentáveis têm se destacado no mercado, oferecendo alternativas que visam o equilíbrio entre lucro e impacto ambiental e social. Soluções inovadoras podem promover a sustentabilidade em todas as etapas, desde a produção até a comercialização dos

produtos agrícolas. Estes modelos valorizam a transparência, a responsabilidade socioambiental e a busca por parcerias que fortaleçam a cadeia produtiva de forma ética e sustentável. Os modelos de negócio sustentáveis têm o potencial de aumentar significativamente a renda dos agricultores, proporcionando-lhes acesso a novos mercados, ferramentas e práticas agrícolas sustentáveis. Esse tipo de negócio pode beneficiar diretamente os agricultores, fortalecer as economias locais e contribuir para a redução da pobreza em áreas rurais (LANZARINI et al., 2021).

Diversos mecanismos têm sido utilizados para conectar agricultores sustentáveis e investidores interessados em impactos positivos. Isso inclui a criação de plataformas de investimento especificamente dedicadas à agricultura sustentável, a facilitação de rodadas de investimento e iniciativas de mentorias que aproximam esses dois grupos. Exemplos reais de conexão incluem cooperativas de agricultores que atraem investidores por meio de parcerias estratégicas, bem como fundos de investimento focados na agricultura sustentável que promovem a conexão entre produtores e financiadores comprometidos com o desenvolvimento sustentável (ROSÁRIO, 2023).

As plataformas de negociação oferecem um ambiente online que facilita a comercialização direta, eliminando intermediários e garantindo uma troca justa de produtos. Além disso, essas plataformas permitem a transparência nas transações, proporcionando aos consumidores a confiança na origem e processo de produção dos itens que adquirem (ZANCHIM, 2023). Por outro lado, os serviços de consultoria em negócios sustentáveis são essenciais para orientar empresas e produtores a adotarem práticas mais responsáveis e eficientes. Eles oferecem suporte na implementação de estratégias para reduzir o impacto ambiental, aumentar a eficiência produtiva e promover a responsabilidade social. Além disso, os consultores auxiliam na obtenção de certificações e na adequação às regulamentações ambientais (NASCIMENTO, 2024). As startups também desempenham um papel fundamental na transição para uma economia verde, uma vez que muitas delas trazem novas ideias, tecnologias e abordagens para os desafios ambientais e sociais, impulsionando a transformação necessária para um modelo econômico mais sustentável e amigável ao meio ambiente (SILVA, 2022).

A conexão entre agricultores sustentáveis, startups e investidores é de extrema

importância para impulsionar modelos de negócios que tragam impactos positivos sociais e ambientais. Essa conexão viabiliza o financiamento de práticas agrícolas sustentáveis e a expansão de projetos que promovem a conservação do meio ambiente. Esta conexão permite que os produtores obtenham financiamento para implementar práticas agrícolas mais sustentáveis, aumentando a produtividade e reduzindo o impacto ambiental. Ao mesmo tempo, os investidores têm a oportunidade de direcionar recursos para projetos que gerem impacto social e ambiental positivo, contribuindo para a promoção de uma economia mais verde e sustentável (MASSRUHÁ et al., 2020). As startups desempenham um papel fundamental na geração de novas oportunidades de emprego, no fomento de práticas sustentáveis e na promoção de uma cultura empresarial mais consciente e responsável (ALVES et al., 2023).

2.5. Requisitos Técnicos e Operacionais

A certificação de carbono demonstra o compromisso com a sustentabilidade. Para obter a certificação de crédito de carbono, são necessários diversos requisitos técnicos. Um aspecto crucial é a verificação de reduções reais e mensuráveis nas emissões de gases de efeito estufa. É preciso validar as metodologias utilizadas, comprovar a adicionalidade do projeto e assegurar a transparência e rastreabilidade das informações. Além disso, os projetos devem estar em conformidade com normas e regulamentos de entidades certificadoras e autoridades competentes (AZEVEDO et al, 2023).

Os critérios de elegibilidade dos projetos são específicos. Eles englobam a natureza das atividades, localização geográfica, data de início do projeto, metodologias usadas, demonstração de adicionalidade, existência de baseline, e precisão na coleta de dados. O cumprimento desses critérios é vital para que um projeto seja considerado apto para certificação. Além disso, os requisitos operacionais envolvem a conformidade com normas e padrões exigidos pela certificadora de carbono. Isso inclui a documentação completa dos processos de redução de emissões e a verificação de elegibilidade. Uma coordenação eficaz com a certificadora é crucial para garantir o sucesso do processo de certificação.

O cumprimento constante de todos os requisitos técnicos e operacionais exigidos é essencial para evitar problemas durante a verificação. No planejamento inicial do projeto, a realização de um levantamento completo das atividades que impactam as emissões é fundamental. Isso inclui identificar fontes, calcular emissões atuais, estabelecer metas de redução, definir planos de monitoramento e garantir a transparência do projeto. Toda a documentação deve seguir as normas exigidas pela certificadora, assegurando assim a aprovação do projeto (TEIXEIRA, 2023).

Para que o proprietário do imóvel rural consiga a certificação de carbono, o requerimento deve ser feito pelo proprietário e pelo técnico responsável, com registro profissional, solicitando a emissão de documento público com fé pública para registrar o estoque de carbono da sua propriedade. Algumas das etapas desse processo incluem:

1. Consultoria para elaboração do projeto.
2. Elaboração do projeto e envio do requerimento.
 - 2.1. Preenchimento do requerimento para protocolo da certificadora;
 - 2.1.1. Projeto descrevendo a metodologia utilizada para medir o estoque de CO₂eq;
 - 2.1.2. Laudo Técnico com registro profissional;
 - 2.1.3. Ata notarial instruída com fotografias de drone;
 - 2.1.4. Cópia do documento da matrícula atualizada do imóvel;
 - 2.1.5. Comprovação do CAR e SIGEF averbados a margem da matrícula;
 - 2.1.6. Certidão de quitação do ITR e registro CAFIR;
 - 2.1.7. Recolhimento de guia com o valor para a realização do estudo de verificação e auditoria da documentação por terceira parte;
 - 2.1.8. Recolhimento de guia com o valor para a realização do estudo de verificação e auditoria da documentação por terceira parte;
Contato para a complementação da documentação quando necessário;
 - 2.1.9. Se não houver pendência o interessado será intimado para recolher as despesas referentes a lavratura de documento público constitutivo e averbação no registro imobiliário pelo cartório competente, cujo encaminhamento será feito pela

certificadora.

3. Recolhimento da guia para a realização da verificação e auditoria.
4. Remessa da certificadora para a verificação e auditoria.
 - 4.1. Verificação e auditoria dos documentos apresentados no requerimento por terceira parte:
 - 4.2. Análise documental;
 - 4.3. Análise geoespacial;
 - 4.4. Análise florestal;
 - 4.5. Análise de dados da compatibilidade do estoque de carbono da matrícula com o estoque de carbono do município.
5. Devolução do laudo pela verificação e auditoria.
6. Pagamento de custas cartoriais.
7. Encaminhamento pela certificadora ao cartório local instruído com o laudo de verificação.
8. Cartório realiza os atos notariais e registrais e retorna à certificadora.
9. A certificadora elabora relatório estatístico, comunica os órgãos de controle, comunica o SINARE e publica no site a existência de carbono registrado na matrícula.
10. A certificadora devolve o título registrado ao requerente do projeto.

Os documentos são verificados conforme os atos de regulação vigentes e metodologias nacional e internacionalmente comparáveis. O certificado é encaminhado a um dos cartórios extrajudiciais existentes no País, de acordo com as esferas de competência, em conformidade com a Lei 6.015, Acordo de Paris e o Apostilamento de Haia (VERRA, 2023)

2.6. Aspectos Regulatórios e Legais

Os acordos e convenções internacionais relevantes para a agricultura sustentável e o mercado de carbono envolvem compromissos de redução de emissões, expansão de energias renováveis e proteção da biodiversidade. Além do Acordo de Paris, destacam-se os compromissos estabelecidos no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e a Convenção sobre Diversidade Biológica, que orientam as ações e políticas voltadas

para a sustentabilidade ambiental.

As normas de certificação e acreditação são fundamentais para garantir a qualidade e a sustentabilidade dos produtos agrícolas. Elas estabelecem critérios e procedimentos para certificar que determinado produto é produzido de acordo com práticas sustentáveis, levando em consideração aspectos ambientais, sociais e econômicos. Além disso, as normas de acreditação para comercialização de créditos de carbono são essenciais para assegurar a transparência e a confiabilidade do mercado de carbono, garantindo que os créditos emitidos representem efetivamente a redução de emissões de gases de efeito estufa (CASTRO, 2022; ELIA et al., 2022).

As acreditações para comercialização de créditos de carbono são necessárias para garantir a integridade e a transparência do mercado de carbono. Organismos de acreditação reconhecidos internacionalmente asseguram que os projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa cumprem com critérios técnicos e metodológicos estabelecidos, garantindo que as reduções de emissões sejam reais, mensuráveis, verificáveis e adicionais. Isso proporciona confiança aos compradores e investidores no mercado de carbono, promovendo o financiamento de ações climáticas e a transição para uma economia de baixo carbono (POLLES et al., 2021).

As políticas públicas de incentivo têm um papel fundamental na promoção da agricultura sustentável e na mitigação das emissões de carbono. Através de programas governamentais e incentivos fiscais, os governos podem estimular os produtores a adotar práticas mais sustentáveis, como a redução do uso de agroquímicos e o investimento em tecnologias de baixa emissão de carbono. Essas políticas também podem incluir subsídios para a adoção de sistemas agroflorestais e práticas de conservação do solo, incentivando os agricultores a adotarem práticas mais sustentáveis em suas propriedades (HELLVIG & FLORES-SAHAGUN, 2023).

Os programas governamentais de fomento à agricultura sustentável visam apoiar os produtores rurais na transição para práticas mais sustentáveis. Isso pode incluir assistência técnica, capacitação e acesso a linhas de crédito com condições especiais para investimentos em tecnologias e práticas sustentáveis. Além disso, esses programas podem oferecer incentivos financeiros diretos, como subsídios para a implementação de sistemas de irrigação mais eficientes e a compra de

insumos orgânicos, contribuindo para a redução das emissões de carbono na agricultura (ALVES, 2023).

A Lei nº 15.042/2024, sancionada em abril de 2024, representa um marco na regulamentação do mercado de carbono no Brasil, com impactos significativos para o setor agrícola. Um dos principais avanços é a diferenciação entre o mercado regulado e o voluntário. O mercado regulado aplica-se a setores de alto impacto ambiental, como energia e siderurgia, os quais passam a operar sob o modelo *cap-and-trade*, com limites obrigatórios de emissões. Já o setor agrícola foi inicialmente incluído no mercado voluntário, com possibilidade de migração para o regulado a partir de 2026, dependendo do nível de adesão e dos resultados obtidos (BRASIL, 2024).

A legislação também estabelece critérios específicos para projetos agrícolas, reconhecendo práticas como o plantio direto, a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e a recuperação de pastagens degradadas como metodologias válidas para geração de créditos. Esses projetos devem passar por verificação independente, conduzida por entidades certificadoras credenciadas pelo INMETRO. Além disso, os créditos gerados devem ter permanência mínima de 10 anos, com o objetivo de garantir a durabilidade dos benefícios ambientais e evitar a reversão dos ganhos obtidos.

2.7. Implementação de Projetos de Carbono no Brasil

Projetos relacionados a florestas, uso da terra e agricultura estão elevando os preços dos créditos de carbono no mercado voluntário, devido à sua qualidade e benefícios, como preservação ambiental e desenvolvimento local. Em 2021, os preços subiram quase 60%, com projetos florestais alcançando valores de até US\$ 5,80 e agrícolas US\$ 8,81. A demanda por créditos de carbono deve aumentar significativamente, impulsionada por metas empresariais ambiciosas, pressões de acionistas, custo menor de capital associado a planos de descarbonização e regulamentações mais rígidas. Assim, o que é voluntário tende a se tornar obrigatório, elevando os preços dos créditos de carbono.

A *Science Based Targets initiative* (SBTI) é uma entidade crucial na resposta global às

mudanças climáticas, orientando que metas empresariais de redução de emissões estejam alinhadas com a ciência climática. A SBTI define "net zero" corporativo como a redução das emissões nos escopos 1, 2 e 3 a zero ou níveis residuais consistentes com as metas de Paris, destacando a necessidade de um esforço interno de descarbonização.

Há dois conceitos fundamentais: reduzir e neutralizar. A redução envolve um plano de descarbonização científico com metas de curto e longo prazo, enquanto a neutralização lida com as emissões residuais após a descarbonização interna. A compensação ocorre durante o processo de redução, com empresas tomando medidas para evitar ou reduzir emissões fora de sua cadeia produtiva. Já a neutralização consiste em projetos que removem carbono da atmosfera, essenciais após atingir o limite de redução interna. Entender esses conceitos sobre compensação e neutralização é vital para as estratégias empresariais rumo ao net zero: a compensação apoia iniciativas externas enquanto a empresa reduz emissões, e a neutralização garante a verdadeira neutralidade de carbono após atingir o limite de redução.

2.8. Práticas Agrícolas Sustentáveis e Sequestro de Carbono

Os créditos de carbono na agricultura referem-se à quantificação e monetização da redução das emissões de gases de efeito estufa resultantes de práticas sustentáveis. A ideia é que os agricultores adotem técnicas de cultivo que minimizem a liberação de CO₂ na atmosfera, gerando créditos que podem ser negociados no mercado de carbono (REISCH, 2021). A agricultura sustentável desempenha um papel fundamental na redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Ao adotar práticas sustentáveis, como a rotação de culturas, o plantio direto e a integração lavoura-pecuária-floresta, os agricultores podem aumentar a capacidade do solo de sequestrar carbono da atmosfera. Além disso, a redução do uso de agrotóxicos e o manejo integrado de pragas e doenças também contribuem para a retenção de carbono no solo (SILVA et al., 2022; LOPES, 2023). Estas práticas visam aumentar a quantidade de carbono fixada no solo, promovendo a saúde do ecossistema e contribuindo para a redução dos impactos ambientais. A implementação dessas práticas requer planejamento e monitoramento para

garantir a eficácia do sequestro de carbono no solo (LOPES, 2023).

Com uma abordagem holística, a agricultura sustentável reduz as emissões e promove a conservação dos recursos naturais e a resiliência dos sistemas agrícolas. As práticas sustentáveis na agricultura envolvem a adoção de técnicas que minimizam o impacto ambiental e maximizam a eficiência produtiva. Isso inclui a utilização de sistemas agroecológicos, a conservação da biodiversidade, o manejo integrado de pragas e a redução do uso de insumos químicos. Além disso, a implementação de práticas agroflorestais e a recuperação de áreas degradadas contribuem significativamente para o sequestro de carbono, tornando-se importantes aliadas na redução das emissões de gases de efeito estufa (MAIA, 2023).

Os produtores de soja e milho poderão contribuir significativamente para o aumento do sequestro de carbono em sistemas agrícolas. O cultivo destas culturas no sistema plantio direto promove a proteção da matéria orgânica, favorece a atividade biológica e melhora a estrutura do solo, aumentando assim a capacidade de retenção de carbono. Também é importante ser salientado que a utilização e adoção de tecnologias modernas e o monitoramento rigoroso para quantificação e verificação dos créditos de carbono em um papel fundamental na quantificação precisa dos créditos de carbono gerados. Tecnologias modernas permitem a coleta de dados geoespaciais e ambientais de forma eficiente e detalhada, contribuindo para a identificação de áreas de desmatamento, emissões de gases de efeito estufa, entre outros. Além disso, a utilização de imagens de satélite e drones possibilita o mapeamento de mudanças no uso do solo e na cobertura vegetal, fornecendo informações essenciais para a verificação dos créditos de carbono (DE MACÊDO et al., 2024)

A composição do solo é uma complexa inter-relação entre quatro componentes principais: ar, água, matéria mineral e matéria orgânica. Este último, mesmo representando apenas entre 1% e 5% do solo, desempenha um papel crucial na produtividade das plantas e nos aspectos ambientais. A matéria orgânica do solo (MOS) é um tema intensamente estudado desde que Wallerius, em 1761, cunhou o termo "húmus" para referir-se a ela. Com o avanço das pesquisas, conceitos e componentes adicionais foram introduzidos, refinando nossa compreensão sobre a MOS (DA LUZ et al., 2023).

A MOS é composta por substâncias húmicas (SHs), organismos do solo com seus

metabólitos e excreções, substâncias não húmicas, além de resíduos vegetais e animais em vários estágios de decomposição. A MOS é essencial não apenas para a fertilidade do solo, mas também para a sustentabilidade ambiental, pois interfere na formação de gases de efeito estufa que contribuem para o aquecimento global (SILVA et al., 2023).

A principal fonte de MOS são os restos vegetais e animais depositados no solo, além dos produtos exsudados pelo sistema radicular das plantas em decomposição. A decomposição desses materiais promove a formação de novas substâncias e tem uma dinâmica de permanência no solo, categorizada em frações ativa, lenta e passiva, cada uma com tempos de residência diferentes. Em sistemas nativos, a MOS mantém um equilíbrio dinâmico, influenciado por fatores como tipo de vegetação, clima, topografia e práticas de manejo (CHERUBIN et al., 2023).

Quando este sistema é perturbado por atividades humanas, o equilíbrio se rompe, resultando em uma perda de MOS. Entretanto, práticas de manejo conservacionistas podem ajudar a manter e até aumentar os níveis de MOS no solo. Exemplos dessas práticas incluem o plantio direto, a utilização de culturas de cobertura, o cultivo mínimo e a redução do uso do fogo. Essas medidas visam não apenas aumentar a quantidade de MOS, mas também melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, promovendo um ambiente favorável para o crescimento vegetal (CHERUBIN et al., 2023).

O carbono é um componente essencial da MOS, participando em várias formas e compostos no solo e desempenhando um papel vital na fotossíntese e na cadeia trófica. A dinâmica do carbono no solo é altamente influenciado por fatores climáticos, topográficos, tipo de solo, material originário, organismos presentes e práticas agrícolas (SANTOS, 2023). O revolvimento do solo desestrutura e expõe a matéria orgânica a ataques microbianos, resultando em perdas de carbono. Deixar os restos culturais na superfície do solo após a colheita protege o solo contra erosão, regula a temperatura e umidade, fornece nutrientes e contribui para a preservação da estrutura do solo. Alternar culturas em um plano de longo prazo diversifica a qualidade e quantidade de material orgânico aportado no solo, melhorando a estrutura e armazenamento de carbono. Esta prática também promove outros benefícios ao sistema agrícola, como a fixação de nitrogênio e a reciclagem

de nutrientes, além de quebrar ciclos de pragas e doenças. E práticas como o Manejo Integrado de Pragas (MIP), Manejo Integrado de Doenças, Manejo de Plantas Daninhas e Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) também podem promover a sustentabilidade agrícola e aumentar os estoques de carbono no solo, contribuindo para um ambiente mais equilibrado e produtivo.

2.9. Métodos de Quantificação de Carbono na Agricultura

A quantificação do carbono no solo é um processo fundamental para avaliar o impacto das práticas agrícolas no sequestro de carbono e na mitigação das mudanças climáticas. No entanto, esse processo enfrenta desafios significativos, como a alta variabilidade espacial e temporal das lavouras, a dificuldade de medição direta em larga escala e a necessidade de métodos robustos de amostragem e análise (ELLERT et al., 2002; CONANT et al., 2003). O carbono é removido da atmosfera e incorporado ao solo por meio da microbiota do solo e das plantas, caracterizando o fluxo de carbono. Esse processo é essencial para aumentar a matéria orgânica do solo e melhorar sua saúde, contribuindo para a sustentabilidade agrícola.

A heterogeneidade das lavouras exige métodos de amostragem precisos e representativos. Centenas de amostras são necessárias, coletadas em diferentes profundidades e locais, para capturar essa variabilidade. Estudos como os de Ellert et al. (2002) e Conant et al. (2003) destacam a importância de métodos robustos para medir mudanças temporais no estoque de carbono e a variabilidade espacial em áreas cultivadas e florestais. A medição direta do fluxo de CO₂ em campo requer equipamentos sofisticados, como técnicas de covariância de vórtices turbulentos, que são de difícil aplicação em larga escala. Baldocchi (2003) discute os avanços e limitações dessa técnica, ressaltando sua importância para avaliar as taxas de troca de carbono em ecossistemas.

O solo é retirado do campo e enviado para análise laboratorial, onde o carbono orgânico é quantificado por meio de analisadores de combustão seca, considerados o padrão para determinação de carbono orgânico do solo. Alternativamente, modelos matemáticos, como o Tier 1 (IPCC) e o RothC, são utilizados para estimar estoques de carbono sem a necessidade de medição direta. Esses modelos consideram dados ambientais (temperatura, umidade, textura do solo) e

práticas agrícolas (tipo de vegetação, rotação de culturas, manejo de nutrientes) para simular a dinâmica do carbono no solo. Campbell e Paustian (2015) e Paustian et al. (2019) discutem o desenvolvimento e a aplicação desses modelos, destacando sua importância para a gestão sustentável do solo.

O modelo Tier 1, desenvolvido pelo IPCC (2006), é um modelo global de referência que estima estoques de carbono com base em dados gerais de uso da terra. Ele é amplamente utilizado para inventários nacionais de gases de efeito estufa (GEE) e fornece uma base para a quantificação de carbono em diferentes sistemas agrícolas e florestais. Modelos como o RothC e o DayCent utilizam dados ambientais (temperatura, umidade, textura do solo) e práticas agrícolas (tipo de vegetação, rotação de culturas, manejo de nutrientes, irrigação, etc.) para simular a dinâmica do carbono no solo. O RothC é utilizado no sistema Full-CAM para monitorar mudanças no estoque de carbono do solo no inventário nacional de GEE, enquanto o DayCent é aplicado nos EUA para estimar variações no carbono do solo e emissões de N_2O e CH_4 (Paustian et al., 2019).

A plataforma CarbonoSegurado não realiza a quantificação direta de carbono, mas facilita o registro de dados necessários para futuras análises, podendo ser integrada a plataformas especializadas em medição de carbono. Esses créditos, gerados por práticas agrícolas sustentáveis, são adquiridos por empresas que buscam compensar suas emissões, oferecendo aos agricultores uma nova fonte de renda enquanto contribuem para a mitigação das mudanças.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Levantamento de Informações Científicas

Foi realizado uma pesquisa exploratória com caráter de desenvolvimento tecnológico, sobre o mercado de carbono na agricultura, modificações no ciclo do carbono durante o desenvolvimento agrícola, além dos benefícios da sustentabilidade na agricultura de grãos. Para esse levantamento foram realizadas pesquisas contendo as palavras-chave "créditos de carbono", "agricultura sustentável", "sequestro de carbono", "mercado de carbono", "software de intermediação" e "agricultura" nos bancos de dados Scopus, Web of Science e Science Direct. A análise abrangeu as publicações dos últimos 10 anos para captar as tendências mais recentes e as inovações emergentes. Para garantir a seleção dos artigos mais pertinentes, foram aplicados critérios: apenas publicações com relevância direta ao tema incluindo artigos científicos, revisões, trabalhos de conclusão de curso, teses, relatórios técnicos e livros.

A análise temática foi dividida em categorias específicas para facilitar a compreensão dos dados. As práticas agrícolas foram categorizadas por tipos, considerando os diferentes métodos utilizados para o sequestro de carbono e a sustentabilidade na agricultura. Além disso, foram consideradas as tecnologias aplicadas, com uma avaliação das suas vantagens e desvantagens em relação aos sistemas de carbono estabelecidos. Essa variedade permitiu uma visão mais rica do tema, possibilitando uma análise das práticas e teorias sobre o mercado de carbono e a agricultura sustentável.

3.2. Soluções Existentes para Agricultura de Baixo Carbono

Para o levantamento de soluções, foram consultadas websites, portais de notícias e interações com profissionais atuantes no setor, com foco em iniciativas disponíveis no mercado de Goiás, Brasil. Identificaram-se parcerias estabelecidas com empresas públicas de pesquisa, startups e grandes corporações. Foi realizado uma análise das funcionalidades de alguns sistemas existentes como Pro-Carbono e Agoro Carbon. Foi conduzida uma avaliação do feedback dos usuários

envolvendo produtores de grãos, soja e milho de Goiás (Tabela 1). Três usuários envolvidos nessa avaliação forneceram insights sobre a viabilidade técnica, identificando melhorias e ajustes necessários na fase inicial do desenvolvimento de nosso MVP.

Tabela 1. Caracterização dos usuários do programa ProCarbono (Bayer) e Agoro Carbon que foram entrevistados durante visitas às propriedades rurais.

Usuário	Definição da escolha do usuário	Perfil inicial do usuário
Produtor em 1.200 ha (soja, milho e sorgo/milheto) – Município de Edéia-GO	Busca melhorar a estrutura do solo com aumento de matéria orgânica.	Entusiasmado com a adoção de práticas para aumentar o sequestro de carbono na propriedade.
Produtor em 2.000 ha (soja, milho e pecuária) – Município de Edealina-GO	Produtor referência na região, engajado com práticas de sustentabilidade na agricultura.	Já adota diretrizes de baixo carbono e busca registrar ações para obter benefícios financeiros futuros.
Produtor em 600 ha (soja, milho, sorgo e milheto) – Município de Edéia-GO	Integrante no programa pro-Carbono	Disposto a modificar manejos e melhorar a estrutura do solo para ampliar o carbono no solo.

3.3 Programa Soja Baixo Carbono (Embrapa)

O Programa Soja Baixo Carbono (SBC) é uma iniciativa que objetiva agregar valor à soja produzida em sistemas que contribuam para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, combatendo assim o aquecimento global (Fig. 3). O Programa SBC pretende criar uma metodologia brasileira, baseada em protocolos científicos validados internacionalmente. A construção desta metodológica é coordenada pela Embrapa Soja com a participação do setor produtivo, a partir de critérios objetivamente mensuráveis, reportáveis e verificáveis, certificando a soja produzida com baixa intensidade de emissão de carbono (EMBRAPA, 2023).

A Embrapa Soja propõe criar o "selo Soja Baixo Carbono (SBC)" para certificar soja produzida em sistemas que minimizam essas emissões, adotando tecnologias sustentáveis. Para medir as reduções, utilizarão o conceito de Intensidade das Emissões de GEEs (IEGEE), baseado no balanço de CO₂-eq. do sistema de produção. A certificação será conduzida por terceiros,

voluntariamente, com critérios desenvolvidos de forma participativa e baseados na ciência (EMBRAPA, 2023).

O diferencial do selo SBC está em focar no sistema de produção, quantificar as emissões e seus impactos, e aplicar normas reconhecidas internacionalmente. A equipe da Embrapa consolidará o programa por meio de revisão e compilação de dados, definição de diretrizes, validação técnica, elaboração de protocolos, e uma ampla agenda de comunicação. O selo SBC visa criar oportunidades de valorização da soja sustentável no mercado global, com uma versão em inglês para fortalecer sua imagem internacional (EMBRAPA, 2023).

DIRETRIZ	CRITÉRIO DE ELEGIBILIDADE	INDICADOR DE ALCANCE
Adequação do Imóvel Rural	Legalização e Questões Trabalhistas	Imóvel rural legalizado
		Imóvel rural sem autuações e/ou embargos ambientais
		Proprietário sem condenação por trabalho infantil ou análogo à escravidão
		Imóvel rural com CAR ativo
	Eliminação de Queimadas Deliberadas	Imóvel rural livre de queimadas de vegetação e palhada
	Normatizações e Risco	Vazio Sanitário cumprido
		Calendário de semeadura respeitado
Outorga do direito de uso da água e licenciamento ambiental obtidos		
Adequação do Sistema de Produção	Práticas Agrícolas Obrigatórias	Sistema Plantio Direto corretamente adotado
		Boas práticas de coinoculação adotadas
		Adubação e correção do solo de acordo com análises e recomendações técnicas (quantidade, posicionamento, frequência)
		Agrotóxicos tecnicamente prescritos
	Práticas Agrícolas Complementares	Valor mínimo do índice de Adoção de Práticas Agrícolas Sustentáveis (IAPAS) atingido.
	Melhoria do Balanço de Carbono	Intensidade das Emissões de GEE (IEGEE) do sistema de produção candidato inferior à linha de base (referência)
		Compensação das emissões relativas à Mudança de Uso da Terra

Figura 3. Estruturação da certificação da marca-conceito Soja Baixo Carbono (SBC). Fonte: Embrapa (2023).

3.4 Programas de Carbono Conectados por Startups

A Green FinTech desenvolveu a plataforma de IA AGLIBS (greenfintechnetwork.org). A plataforma auxilia os agricultores a resolver a mitigação das mudanças climáticas e segurança alimentar, trazendo como geração de valor o aumento da produtividade e sustentabilidade agrícola,

com monetização de carbono e agregação de valor nas commodities (Green FinTech Network, 2023). Essa plataforma integra informações sobre manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas, geração e comercialização de crédito carbono. A solução visa contribuir para a segurança alimentar e a mitigação da mudança climática em nosso planeta. Através do sequestro de carbono no solo e da nutrição das plantas, colaborar para um mundo melhor Green FinTech Network, 2023).

A Cargill e Regrow possuem uma plataforma conjunta para a ação climática na fazenda (cargill.us.regrow.ag). Essa plataforma tem um foco em agricultura regenerativa, principalmente associado ao escopo 3 de cadeias de suprimentos de alimentos, fibras e bebidas. Essa solução diz atender aos requisitos de todos os protocolos de divulgação e crédito de carbono, incluindo GHGP, SustainCert, CAR, Verra e Gold Standard (CARGILL, 2023). Por meio de integrações com vários sistemas de gerenciamento de fazendas, a plataforma permite que os produtores enviem registros agronômicos de maneira fácil e segura, para quantificar seus créditos de carbono e outros resultados do ecossistema. Usa também de imagens de satélite e um Sistema de Informação de Operação de Lavoura (batizado OpTIS) para mapear práticas agrícolas, como a cobertura de solo, eliminando a necessidade de enviar um profissional a campo para fazer as verificações (CARGILL, 2023).

3.5. ProCarbono Commodities (Bayer)

O programa ProCarbono Commodities (agro.bayer.com.br) foi desenvolvido com o objetivo de rastrear a produção de grãos com pegada de carbono mensurada e livre de desmatamento, garantindo transparência e rastreabilidade ao longo da cadeia produtiva. A iniciativa busca fomentar a produção e comercialização de commodities agrícolas, como a soja, associadas a boas práticas agrícolas e à preservação dos ecossistemas locais. Para isso, o programa adota metodologias cientificamente validadas para quantificação das emissões e do sequestro de carbono, assegurando um processo robusto e auditável. Além disso, a plataforma ProCarbono integra ferramentas avançadas de coleta, visualização e interpretação de dados, permitindo a geração de relatórios detalhados (Fig. 4). Esses relatórios são fundamentais para empresas e organizações que necessitam atender a regulamentos ambientais ou que possuem compromissos voluntários com a

sustentabilidade, facilitando a tomada de decisão baseada em informações precisas e atualizadas.

Para a utilização da plataforma ProCarbono, o usuário deve inserir dados específicos da área a ser analisada, permitindo a estimativa do balanço de carbono (CHERUBIN et al., 2021). Entre os parâmetros a serem definidos estão: tipo de preparo do solo (com ou sem revolvimento), manejo da palhada pós-colheita, histórico de uso do solo (culturas de verão, inverno ou pousio) e produtividade esperada de grãos ou fibras. Adicionalmente, o sistema permite a seleção de insumos utilizados, incluindo compostos e adubos orgânicos de origem animal, vegetal ou subprodutos de processos industriais, bem como dados edáficos, como textura do solo, densidade aparente, pH e teor de matéria orgânica. Esses parâmetros são essenciais para uma modelagem precisa do balanço de carbono, contribuindo para a avaliação da sustentabilidade da produção agrícola e sua conformidade com padrões ambientais.

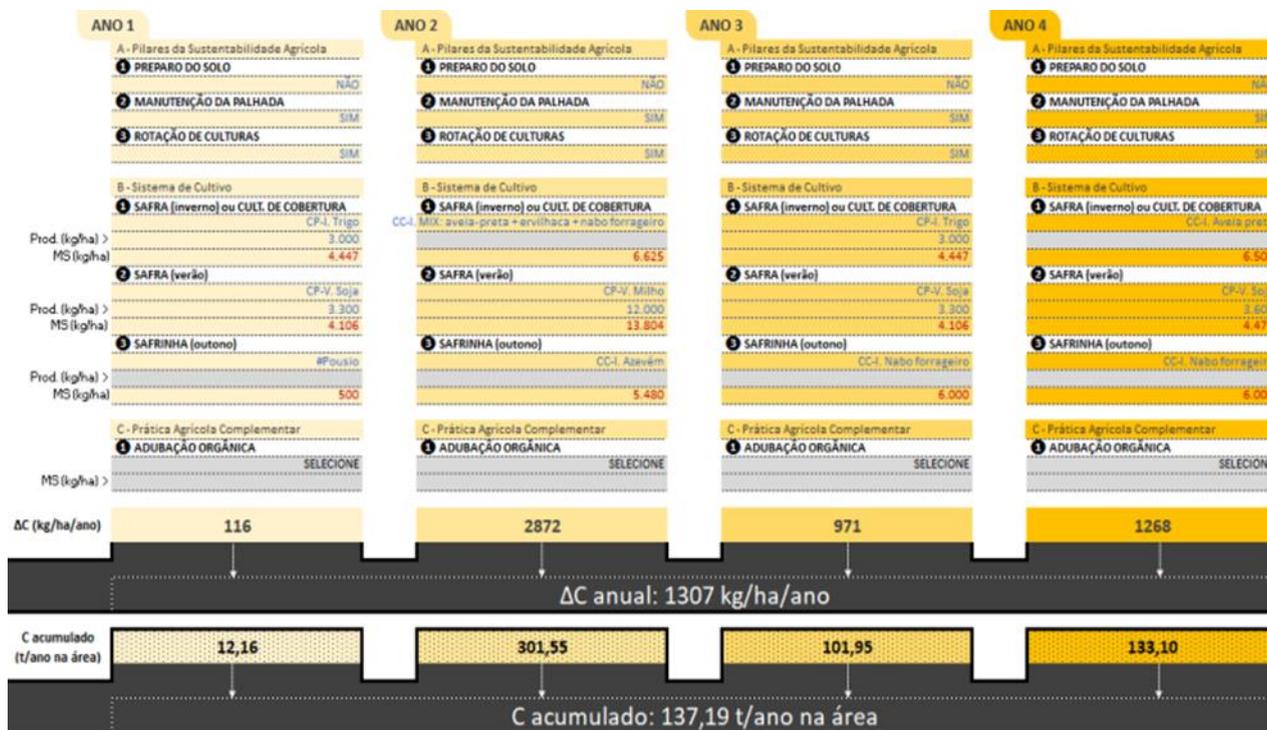


Figura 4. Estrutura e layout da ferramenta base de cálculo para contabilizar estoque de carbono da plataforma ProCarbono, Bayer (CHERUBIN et al., 2021).

3.4.1. Feedback de Usuários da ProCarbono

O feedback dos produtores que utilizaram o programa ProCarbono destacou diversos

pontos positivos. A usabilidade da plataforma foi elogiada, com os usuários destacando a interface intuitiva e a navegação facilitada. As informações foram consideradas detalhadas e acessíveis, permitindo que os produtores compreendessem com precisão o impacto de suas atividades agrícolas. Por fim, os produtores expressaram interesse em ingressar no mercado de carbono para obter ganhos financeiros futuros, melhorar a produtividade das culturas de soja e milho e se posicionar estrategicamente nesse setor em expansão. Além disso, os produtores reconheceram o potencial de crescimento do mercado de crédito de carbono, impulsionado por políticas públicas e pela demanda global por sustentabilidade. Essa experiência foi vista como valiosa para o desenvolvimento das fazendas, abrindo portas para futuras oportunidades de negócios, como ganhos financeiros com a venda de créditos de carbono e possíveis incentivos de bancos e empresas envolvidas na produção de grãos. A inserção no mercado de carbono foi vista como um passo importante para o crescimento e a sustentabilidade dos negócios rurais.

Por outro lado, os produtores também apontaram áreas que necessitam de melhorias no programa. Um dos principais pontos destacados foi a necessidade de entender melhor os ganhos periódicos de carbono no solo, bem como enfatizar de forma clara os benefícios financeiros associados às práticas de fixação de carbono. Além disso, houve preocupações em relação à permanência dos créditos de carbono, já que práticas agrícolas podem mudar rapidamente, e o sequestro de carbono pode não ser permanente.

Outro feedback relevante foi sobre a precisão e confiabilidade dos dados. Os produtores questionaram se as informações sobre emissões de carbono e créditos estão corretas e sugeriram que o programa forneça dados claros sobre valores e possíveis ganhos, considerando a valorização e desvalorização dos créditos no mercado. A falta de regulamentação específica para o mercado voluntário de carbono também foi mencionada como um desafio, já que a venda de créditos parece ser um processo complexo. Por fim, os usuários sugeriram que o software seja integrado a dispositivos móveis, permitindo o acompanhamento dos dados e a obtenção de créditos de forma mais prática e acessível. Muitos usuários relataram lentidão para preenchimento e cálculos. Embora a interface seja intuitiva, alguns elementos de navegação foram identificados como confusos.

3.6 Desenvolvimento do Produto Mínimo Viável (MVP): CarbonoSegurado

Nosso MVP foi projetado para atender necessidades e expectativas dos usuários não supridas pelas plataformas atuais. Como uma versão simplificada e funcional, o MVP permite validar a ideia com o mínimo de esforço no desenvolvimento, incorporando sugestões de usuários de sistemas existentes para otimizar funcionalidades de quantificação de carbono. Esse feedback é crucial para ajustes pré-lançamento, economizando tempo e recursos (MACEDO NETO, 2023). Comentários negativos e propostas de melhoria foram essenciais para refinar o desenvolvimento do CarbonoSegurado. Além disso, uma análise SWOT foi realizada para avaliar a viabilidade do mercado de crédito de carbono, identificando pontos fortes, fraquezas, oportunidades e ameaças. Essa ferramenta estratégica fornece insights valiosos sobre o mercado e a concorrência, apoiando decisões embasadas e contribuindo para o sucesso do negócio (QUADROS & FERNANDES, 2022).

A metodologia para a elaboração do MVP da plataforma seguiu um fluxo estruturado utilizando o pacote Shiny no R, permitindo a criação de uma interface interativa e responsiva para a gestão e monitoramento de parte do mercado de carbono na agricultura. O uso exclusivo dessa linguagem permitiu agilidade no desenvolvimento para MVP e portabilidade web sem compiladores. O desenvolvimento iniciou-se com a definição dos requisitos funcionais e estruturais, incluindo a organização das telas e funcionalidades principais, como autenticação, monitoramento de solo, manejo agrícola, relatórios e consultoria técnica. A autenticação foi implementada para garantir segurança no acesso aos dados, permitindo controle de usuários e permissões. O MVP foi desenvolvido com Shiny Dashboard para facilitar a navegação entre os módulos, utilizando Bootstrap para personalização do layout e shinyjs para interações dinâmicas. Após a implementação das funcionalidades essenciais implantada na plataforma shinyapps.io, possibilitando testes em ambiente real com usuários, validação de fluxo de uso e identificação de ajustes necessários antes de uma versão final. O desenvolvimento seguiu uma abordagem iterativa, permitindo melhorias contínuas com base no feedback dos primeiros usuários e nas necessidades operacionais do projeto.

O MVP da plataforma CarbonoSegurado visa auxiliar produtores rurais na adoção de

práticas regenerativas e no cumprimento dos requisitos do VCS Program Guide e VCS Methodology Requirements para certificação de projetos agrícolas de carbono via Verra (VERRA, 2024a; VERRA, 2024b). A integração do monitoramento sustentável das áreas agrícolas em tempo real e gestão documental poderia facilitar o acompanhamento da transição e eventual comercialização dos créditos de carbono:

1. Monitoramento da Transição para Agricultura Regenerativa

1.1 Registro de áreas e cadastro de talhões

- Georreferenciamento da propriedade e áreas de produção
- Histórico de uso do solo
- Mudanças no uso da terra (ex: conversão de pastagens para lavoura)

1.2 Planejamento de práticas sustentáveis

- Plantio direto, cobertura do solo e rotação de culturas
- Uso de fertilizantes sintéticos e adubos orgânicos
- Estratégias de conservação de água e manejo de irrigação sustentável
- Controle biológico de pragas e manejo integrado

1.3 Acompanhamento de indicadores agronômicos e ambientais

- Análises laboratoriais do solo (carbono orgânico, matéria orgânica, ph, etc)
- Índices de vegetação (NDVI, LAI) por sensoriamento remoto
- Umidade do solo e fluxo de CO₂ na interface solo-atmosfera

1.4 Verificação da evolução da regeneração do solo

- Comparação entre manejo convencional e regenerativo
- Tempo de implementação das práticas e seus impactos ao longo dos anos

2. Gestão do processo de certificação

2.1 Checklist de conformidade Verra

- Registro de práticas implementadas conforme requisitos Verra
- Documentação de mudanças no uso do solo e práticas agrícolas sustentáveis

2.2 Registro e rastreamento de créditos de carbono

- Integração com sistemas de certificação de carbono
- Histórico de créditos gerados e comercializados

2.3 Relatórios e documentação para verificação

- Relatórios customizáveis com métricas exigidas pelo padrão verra
- Armazenamento seguro de evidências (fotos, mapas, laudos laboratoriais)
- Exportação de documentos para auditorias externas
- Comparação entre metas e execução real das práticas sustentáveis
- Simulação de ganhos financeiros com a comercialização de créditos

3. Módulo de consultoria e assistência técnica

- Canal direto para contato com especialistas e empresas certificadoras
- Suporte para preenchimento de documentação e conformidade técnica

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Elaboração de Produto Mínimo Viável: CarbonoSegurado

A análise detalhada e acompanhamento de práticas agrícolas sustentáveis revela oportunidades significativas para melhorias no processo produtivo. Nosso MVP buscou a simplificação da interface do usuário, compatibilidade com dispositivos móveis e o aprimoramento do suporte e documentação. Simplificar menus, melhorar a organização visual e garantir uma navegação mais fluida são passos essenciais para aumentar a usabilidade. Ainda será necessário que as funcionalidades sejam totalmente implementadas e livres de problemas técnicos, com testes rigorosos antes do lançamento para evitar frustrações. Para isso, a integração com sistemas já existentes e a oferta de um suporte técnico responsivo, manuais detalhados e tutoriais em vídeo, poderão elevar a satisfação dos usuários. Essas observações são complementadas pela análise SWOT, que identifica desafios como a falta de experiência no mercado e a dependência de parcerias estratégicas, destacando a necessidade de investimentos e disseminação de informações para superá-los (Tabela 2).

Tabela 2. Visão regional do sudeste goiano sobre forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (SWOT) para adoção e manutenção de práticas agrícolas sustentáveis visando atender o mercado de carbono.

	Forças (S)	Fraquezas (W)
Ambiente Interno	<ul style="list-style-type: none">• Capacidade de reduzir as emissões de carbono através de projetos sustentáveis.• Habilidade de atrair investidores e parcerias estratégicas de organizações ambientalmente conscientes.• Disponibilidade de tecnologias para monitorar e quantificar a redução de emissões de carbono.• Leis e normas que visam controlar a emissão de gases de efeito estufa e promover a redução da pegada de carbono têm impulsionado o desenvolvimento deste mercado.	<ul style="list-style-type: none">• Falta de reconhecimento e compreensão do mercado sobre o conceito de crédito de carbono.• Dependência de políticas ambientais e regulatórias favoráveis para seu crescimento.• Necessidade de recursos financeiros para sustentar as operações.• Falta de maturidade do mercado de crédito de carbono.• Falta de compromisso e unidade nas políticas globais relacionadas às mudanças climáticas.
Ambiente Externo	Oportunidades (O) <ul style="list-style-type: none">• Crescente conscientização global sobre a mudança climática e a busca por fontes de energia limpa e sustentável,	Ameaças (T) <ul style="list-style-type: none">• Competição de soluções de redução de emissões mais tradicionais.• Desaceleração econômica global que pode

	<p>demandando soluções de redução de carbono.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de expansão para novos mercados emergentes. • Colaboração com empresas de diferentes setores para reduzir as emissões de carbono. • Participação em acordos internacionais e a possibilidade de negociação de créditos de carbono no mercado financeiro. • Implementação de tecnologias para ajudar a reduzir as emissões de carbono. • Programas de incentivos governamentais. 	<p>reduzir o investimento em projetos de crédito de carbono.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crise de confiança do mercado de carbono devido a fraudes e a falta de padronização e transparência nos projetos de redução de carbono. • As mudanças climáticas extremas representam uma ameaça significativa para o mercado de carbono, uma vez que eventos climáticos extremos, secas e inundações, podem impactar diretamente a eficácia dos projetos de redução de emissões de carbono.
--	---	--

4.1.1. Telas do Produto Mínimo Viável

Detalhamos as principais telas do MVP de interface com o usuário (o código fonte será depositado no INPI após defesa). Como não é uma plataforma final, os campos de interação e entrada de dados foram desenvolvidos para esboçar como os usuários poderiam interagir com funcionalidades, adotando boas práticas agrícolas e permitindo conexões com outras plataformas que quantifiquem carbono.

A primeira aba da CarbonoSegurado foi criada para ajudar produtores rurais a entender e participar do mercado de carbono de forma simples e eficiente (Fig. 5). Esta tela incluirá treinamentos sobre “Introdução ao Mercado de Carbono”, “Boas Práticas Agrícolas” e “Como Acessar o Mercado”. Esse espaço é reservado a tutoriais, assistência técnica e treinamentos online para suporte contínuo. Com essas funcionalidades, o Carbono Seguro simplifica a adoção de práticas sustentáveis e a participação no mercado de carbono.

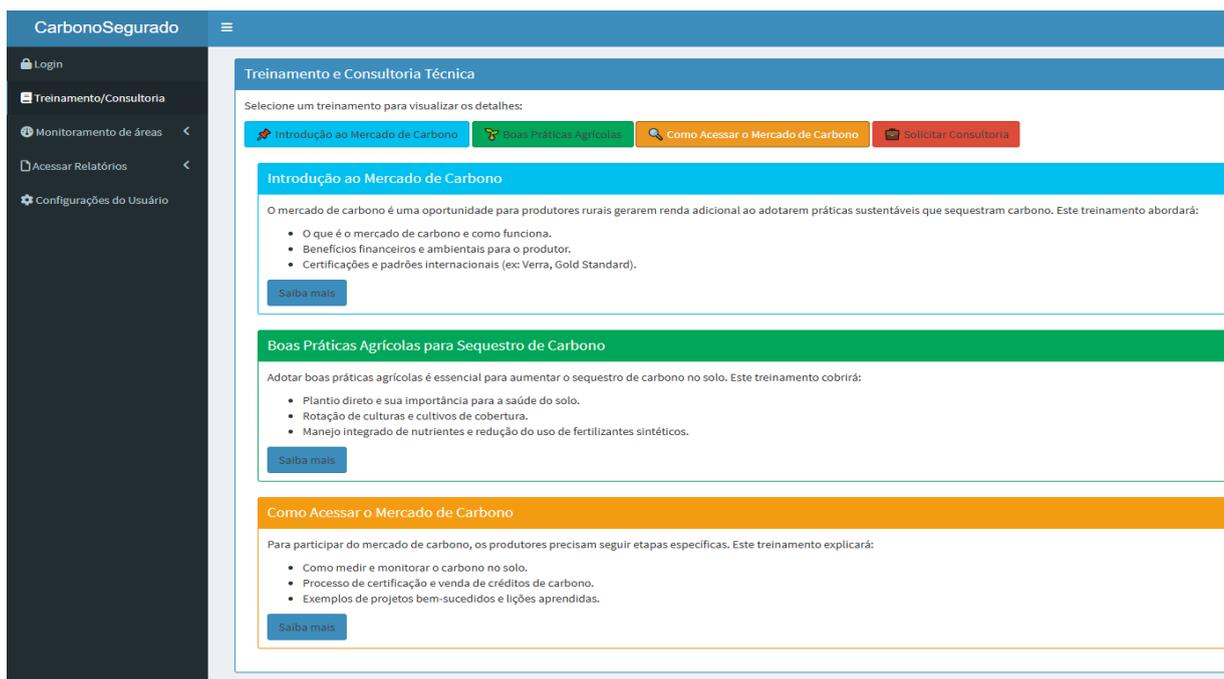


Figura 5. Acesso aos treinamentos e consultoria técnica na plataforma CarbonoSegurado.

Na aba de monitoramento de áreas, pode-se acompanhar diferentes talhões, facilitando a gestão individualizada da propriedade. Existem campos para registrar os atributos do solo, como teor de carbono orgânico, matéria orgânica, densidade aparente, pH, CTC (Capacidade de Troca de Cátions) e umidade (Fig. 6). Também é possível incluir indicadores de atividade microbiana, textura do solo (areia, silte, argila) e disponibilidade de nutrientes (ferro, alumínio, fósforo).

CarbonoSegurado

Monitoramento de Solo

Registro de atributos do solo para avaliação da saúde e capacidade de sequestro de carbono.

Ano da Safra	2021	Proporção de Areia no Solo (%)	0
Talhão	Talhão 1	Proporção de Silte no Solo (%)	0
Teor de Carbono Orgânico do Solo (%)	0	Proporção de Argila no Solo (%)	0
Matéria Orgânica do Solo (%)	0	Teor de Ferro no Solo (mg/kg)	0
Densidade Aparente do Solo (g/cm ³)	0	Teor de Alumínio no Solo (mg/kg)	0
pH do Solo (0 a 14)	7	Disponibilidade de Fósforo no Solo (mg/kg)	0
Capacidade de Troca de Cátions (CTC) (cmol/kg)	0	Presença de Compactação	Sem compactação
Umidade do Solo (%)	0	Estoque de Carbono no Solo (Mg C/ha)	0
Atividade Microbiana do Solo (µg CO ₂ /g solo/dia)	0		

Salvar

Figura 6: Página da plataforma CarbonoSegurado para monitoramento do solo.

Também pode-se acompanhar os fatores climáticos e ambientais, como temperatura, precipitação, radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, evapotranspiração e mudanças no uso do solo (Fig. 7).

CarbonoSegurado

Monitoramento Ambiental

Registro de fatores ambientais que afetam o sequestro de carbono e a saúde do ecossistema agrícola.

Ano da Safra	2021	Evapotranspiração Potencial (mm)	0
Talhão	Talhão 1	Fluxo de Carbono na Atmosfera (tCO ₂ eq)	0
Temperatura Média do Ar (°C)	0	Índice de Vegetação (NDVI)	0
Precipitação Acumulada (mm)	0	Índice de Área Foliar (LAI)	0
Radiação Solar Incidente (MJ/m ²)	0	Mudanças no Uso do Solo	Nenhuma
Umidade Relativa do Ar (%)	0	Eventos Climáticos Extremos	Nenhum
Velocidade do Vento (m/s)	0		

Salvar

Figura 7. Página da plataforma CarbonoSegurado para monitoramento ambiental.

Em outra aba, pode-se registrar as práticas agrícolas, como data de plantio, espaçamento, rotação de culturas, fertilização (nitrogenada, fosfatada, potássica), produtividade, biomassa gerada por culturas de cobertura e práticas de irrigação (Fig. 8).

The screenshot shows the 'CarbonoSegurado' web application interface. On the left is a dark sidebar menu with options: 'Login', 'Treinamento/Consultoria', 'Monitoramento de áreas', 'Monitoramento de Solo', 'Monitoramento Ambiental', 'Monitoramento de Manejo Agrícola', 'Acessar Relatórios', and 'Configurações do Usuário'. The main content area is titled 'Monitoramento de Manejo Agrícola' and contains a form for recording agricultural practices. The form includes fields for 'Ano da Safra' (2021), 'Talhão' (Talhão 1), 'Data de Plantio' (2025-03-11), 'Espaçamento (m)' (0), 'Ocupação do Solo' (Verão), and 'Rotação de Culturas'. On the right side of the form, there are several input fields for agricultural metrics, all currently showing '0': 'Área Cultivada com Soja/Milho (ha)', 'Produtividade da Cultura (kg/ha)', 'Biomassa Gerada por Culturas de Cobertura (kg/ha)', 'Fertilização Nitrogenada (kg N/ha)', 'Fertilização Fosfatada (kg P₂O₅/ha)', and 'Fertilização Potássica (kg K₂O/ha)'. At the bottom right, there is a 'Práticas de Irrigação' field with 'Gotejamento' selected. A 'Salvar' button is located at the bottom left of the form.

Figura 8. Página da plataforma CarbonoSegurado para monitoramento do manejo agrícola.

Na aba de relatórios, são gerados informações resumidas sobre os dados coletados, facilitando a análise e a tomada de decisões, além de permitir verificação individualizada de cada talhão sobre o atendimento aos requisitos de certificações (Fig. 9). Esses relatórios personalizados permitem importar dados sobre sequestro de carbono, práticas agrícolas adotadas e impactos ambientais.



Figura 9. Representação visual das tendências de estoque de carbono. Como não foi coletado dados de carbono durante o período da dissertação, os resultados dos gráficos são apenas ilustrativos para que pudéssemos construir a estrutura de análise de dados.

Além disso, oferece a funcionalidade de gerar um checklist de conformidade com certificações como Verra e Gold Standard. O usuário pode selecionar as certificações desejadas e comparar o checklist conforme necessário (Fig. 10). A checklist é indicativa, não substituindo auditorias de certificação.



Figura 10. Acesso aos relatórios informativos.

4.1.1. Semelhanças entre CarbonoSegurado e demais plataformas

A plataforma CarbonoSegurado compartilha características com plataformas como a Verified Carbon Standard (VCS) da Verra, padrão adotado por 68% dos projetos agrícolas globais (ECOSYSTEM MARKETPLACE, 2024). Assim como outras plataformas, o CarbonoSegurado incentiva a adoção de práticas agrícolas que promovem a conservação do solo e a melhoria da matéria orgânica. Isso inclui técnicas como plantio direto, rotação de culturas, manutenção de palhada e uso de adubos orgânicos, eficiência em produtos biológicos para a diminuição produtos químicos. A plataforma utiliza dados relacionados ao manejo do solo, como tipo de preparo, histórico de culturas e práticas de adubação, para avaliar a saúde do solo e seu potencial de sequestro de carbono. Esses dados são essenciais para orientar os agricultores na adoção de práticas que aumentem a retenção de carbono no solo. CarbonoSegurado busca conectar os agricultores a iniciativas de sustentabilidade, permitindo que eles demonstrem seus esforços na adoção de práticas conservacionistas e na melhoria da qualidade do solo.

4.1.2. Diferenciais da Plataforma CarbonoSegurado

Um dos pontos centrais da CarbonoSegurado é o uso de dados sobre o manejo do solo – incluindo tipo de preparo, histórico de culturas e práticas de adubação – para avaliar a saúde do solo e o seu potencial de sequestro de carbono. Com essas informações, os agricultores podem tomar decisões mais embasadas para adotar estratégias que favorecem a retenção de carbono e a sustentabilidade a longo prazo. A CarbonoSegurado facilita a conexão entre os agricultores e iniciativas de sustentabilidade, permitindo que eles evidenciem seus esforços na implementação de práticas conservacionistas e na melhoria da qualidade do solo. Essa abordagem reforça o compromisso dos produtores com a agricultura regenerativa e a certificação de créditos de carbono. Em comparação a soluções concorrentes, a CarbonoSegurado destaca-se por flexibilidade, permitindo acesso e adaptação a pequenas e médias propriedades com interface simplificada e sem dependência de intermediários.

4.1.3. Definição de Identidade Visual de CarbonoSeguro

A estrutura e layout da ferramenta nesta primeira versão foi elaborada em abas contendo conceitos (com breve descrição, implicações no C do solo para cada manejo da fazenda) e estimativa das variações no estoque de C do solo a partir da simulação de cenários. A logo da plataforma representa a agricultura conectada com tecnologias. Os seis prótons do átomo de carbono representam o produtor rural, digitalização, sustentabilidade, tecnologia agrícola, eficiência produtiva e agricultura regenerativa (Fig. 11). A criação da identidade visual do CarbonoSegurado foi pensada para transmitir confiança, inovação e sustentabilidade. O logotipo foi desenvolvido para ser simples e memorável, incorporando elementos que representam carbono, solo e tecnologia.



Figura 11. Logomarca proposta para a identidade visual de uma plataforma voltada a avaliações de práticas sustentáveis que atendam ao mercado de carbono.

5 CONCLUSÃO

CarbonoSegurado se posiciona como uma ferramenta promissora para promover a agricultura sustentável e a mitigação das mudanças climáticas. Ao conectar práticas agrícolas regenerativas com o mercado de créditos de carbono, a plataforma pode contribuir para a saúde do solo e a produtividade das lavouras, além de oferecer uma nova fonte de renda para os agricultores. O desenvolvimento do MVP da CarbonoSegurado foi guiado por uma abordagem iterativa, incorporando feedbacks de usuários e análises de mercado para garantir que a plataforma atenda às necessidades dos agricultores. A análise SWOT realizada durante o desenvolvimento da plataforma destacou a importância de superar desafios como a falta de regulamentação clara no mercado voluntário de carbono, a volatilidade dos preços dos créditos e a necessidade de maior conscientização e capacitação dos agricultores.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, T. M.; SANTOS, L. C.; BATISTA, P. F.** Capítulo 3: Empreendedorismo e Inovação. In: RESENDE, R. T.; BRONDANI, C. (Org.). *Melhoramento de Precisão: aplicações e perspectivas na genética de plantas*. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2023. p. 19.
- ARAÚJO, J. N.; ABBADE, K. M.** A efetividade do Acordo de Paris frente ao Acordo de Livre-Comércio do Mercosul e União Europeia. *Revista do Programa de Direito da União Europeia*, v. 1, p. 25-38, 2021. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rpdue/article/download/83422/79191/181190>. Acesso em: 4 dez 2024.
- AZEVEDO, Henrique Sampaio de.** O Mercado de Créditos de Carbono: apontamentos sobre uma alternativa regulatória para o crescente problema da poluição da atmosfera e seus impactos na mudança climática. In: CHINI, Alexandre; JARCZUNE, Julliana; FROTA, Leandro Mello; UILLE, Maria Tereza (coord.). *Temas relevantes no direito ambiental e climático: tomo I*. Rio de Janeiro: Synergia, 2023. 802 p. ISBN 9786586214086.
- BERNACCHI, C.; HOLLINGER, S.; MEYERS, T.** A conversão do ecossistema de milho/soja para agricultura de plantio direto pode resultar em um sumidouro de carbono. *Global Change Biology*, v. 12, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01195.x>. Acesso em: 4 dez 2024.
- BRASIL. Lei nº 15.042, de 8 de abril de 2024.** Institui o Sistema Brasileiro de Redução de Emissões (SBRE) e regulamenta o mercado de créditos de carbono. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 abr. 2024. Disponível em: [link oficial quando disponível]. Acesso em: [data].
- CARAUTA, M. et al.** Os programas de crédito preferencial podem acelerar a adoção de sistemas agrícolas de baixo carbono em Mato Grosso, Brasil? Resultados da microsimulação bioeconômica. *Regional Environmental Change*, v. 18, p. 117–128, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1104-x>. Acesso em: 4 dez 2024.
- CARGILL (2023).** Plataforma de Ação Climática na Fazenda. Disponível em: <https://cargill.us.regrow.ag>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- CARMO, F. T.** Análise do impacto dos créditos de carbono na avaliação financeira de projetos de redução de gases de efeito estufa. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/5810>. Acesso em: 4 dez 2024.
- CASTRO, Y. A. S.** Estudo do sistema de gestão ambiental em empresas: implantação, entraves e oportunidades. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15989>. Acesso em: 4 dez 2024.
- CHAVES, M. D. P. S. R. et al.** Sustentabilidade & qualidade de vida: práticas sustentáveis de saúde em comunidades ribeirinhas no Amazonas. *Revista de Políticas Públicas*, v. 24, n. 1, p. 265-285, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18764/2178-2865.v24n1p265-285>. Acesso em: 4 dez 2024.
- CHERUBIN, M. R. et al.** Matéria orgânica do solo em áreas de pastagens no Brasil. In: BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN-NETO, L.; ANDRADE, C. A.

- (Org.). Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2023. p. 601-625.
- CHERUBIN, M. R.; SILVA, A. G. B.; DAMIAN Junior, M.; CERRI, C. E. P. PRO CARBONO: uma ferramenta de suporte à definição de práticas de manejo para acumular carbono no solo. 2021.**
- CLIMATE ACTION RESERVE (CAR) (2023).** Protocolos para Projetos de Carbono na Agricultura. Disponível em: <https://www.climateactionreserve.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- DA LUZ SILVA, L.; RIBON, A. A.; BACKES, C.** Carbono e matéria orgânica do solo em sistema de manejo de produção de pastagem: uma revisão sistemática com meta-análise. *Agrarian*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v16i56.17176>. Acesso em: 4 dez 2024.
- DE MACÊDO NASCIMENTO, F. J.; CAVALCANTE, R. N. M.; JUNIOR, J. C. R.; DA SILVA, J. R. L.; RODRIGUES, J. C.** Análise multitemporal de parâmetros biofísicos do município de Garanhuns (Pernambuco) com uso de geotecnologias. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 5, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11334579>. Acesso em: 4 dez 2024.
- ELIA, B.; DENNY, D. M. T.; MARTINS, M. M. V.; QUEEN, S.; BISPO, A.; NONNENBERG, M. B.; CECHIN, A.** Dez normas voluntárias de sustentabilidade. Preprint ResearchGate. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362634408_Dez_normas_voluntarias_de_sustentabilidade. Acesso em: 4 dez 2024.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOJA.** Diretrizes técnicas para certificação Soja Baixo Carbono: primeira aproximação. Ministério da Agricultura e Pecuária, Londrina, PR, 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1160299/1/DOCUMENTOS-457.pdf>. Acesso em: 4 dez 2024.
- FONSECA, F. V. M.; GOMES DA SILVA, J.; CAVALCANTE DE SOUZA, R. A.** Aplicação do HCD para desenvolvimento de uma solução digital de apoio ao pequeno produtor rural a partir de informações do tempo e de pragas. *GESTÃO. Org - Revista Eletrônica de Gestão Organizacional*, v. 21, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.51359/1679-1827.2023.256780>. Acesso em: 4 dez 2024.
- GOLD STANDARD (2023).** Protocolos para Créditos de Carbono e Sustentabilidade. Disponível em: <https://www.goldstandard.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- GOMES, L. C.; CARDOSO, I. M.** Papel da agricultura familiar no sequestro de carbono e na adaptação às mudanças climáticas. *Ciência e Cultura*, 2021. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v73n1/v73n1a08.pdf>. Acesso em: 4 dez 2024.
- GREEN FINTECH NETWORK (2023).** AGLIBS: Plataforma de IA para Agricultura Sustentável. Disponível em: <https://greenfintechnetwork.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL (GHGP) (2023).** Padrões para Medição e Relato de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <https://ghgprotocol.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.

- HELLVIG, E. L. F.; FLORES-SAHAGUN, T. H. S.** Políticas públicas para o setor primário alinhadas à baixa emissão de carbono: mapeamento e territorialização dos arranjos produtivos locais de São José dos Pinhais. *Revista Econômica do Nordeste*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.61673/ren.2023.1392>. Acesso em: 4 dez 2024.
- ICC BRASIL.** Oportunidades para o Brasil em mercados de carbono. Relatório ICC, 2022. Disponível em: https://www.iccbrasil.org/wp-content/uploads/2022/10/RELATORIO_ICCBR_2022_final.pdf. Acesso em: 4 dez 2024.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.** *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 10 abril 2025
- JÚNIOR, P. R. D. S. R.; ROSA, A. A.; SANTOS, W. F. R.; SILVA, D. P.; DE SOUSA MOREIRA, I.** Reconstruindo a abordagem do mercado de crédito de carbono sob a perspectiva construtivista. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 15, n. 5, p. e3760-e3760, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i5.3760>. Acesso em: 4 dez 2024.
- LANZARINI, J. L.; DA LUZ, G. L.; LAJÚS, C. R.; DALCANTON, F.; BARICHELLO, R.; CANDIDO, L. R.; MARTINELLO, V.** Locavorismo: desenvolvimento sustentável para o rural e o urbano. 2021. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/210805937.pdf>. Acesso em: 4 dez 2024.
- LOPES, M. F.** Sequestro de carbono atmosférico na agropecuária: práticas e impactos ambientais. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2023. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/7382>. Acesso em: 4 dez 2024.
- LUIZ, J. L. T. C.; SCAVARDA, A.; MACHADO, F. V.** Panorama atual do crédito de carbono na engenharia sustentável e sua contribuição para a saúde: sustentabilidade em foco. *Seven Publicações*, 2024. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/anais7/article/view/4636>. Acesso em: 4 dez 2024.
- MACEDO NETO, F. B.** Do campo à mesa: sistema de comercialização e logística para pequenos produtores rurais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/54792>. Acesso em: 4 dez 2024.
- MAIA, F. R.** The economic viability of an agroforestry system in relation to monoculture. *Journal of Interdisciplinary Debates*, 2023. Disponível em: <https://www.periodicojs.com.br/index.php/jid/article/view/1744/1533>. Acesso em: 4 dez 2024.
- MARRA, D. F.; BRISOLA, M. V.; DOS REIS, S. A.** Um estudo prospectivo da cadeia produtiva do milho no Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 40, p. 27368, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2023.v40.27368>. Acesso em: 4 dez 2024.
- MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. D. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; EVANGELISTA, S. R. M.** A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1126214/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>. Acesso em: 4 dez 2024.

- MINARDI, A. M. A. F.; ALMEIDA, R. J.; ATTIE, M. A.** Redução das emissões de CO₂: a utilização do blockchain no mercado de créditos de carbono. Insper, 2022. Disponível em: <https://repositorio-api.insper.edu.br/server/api/core/bitstreams/6670970d-fac0-4904-8038-8c382ab33be1/content>. Acesso em: 4 dez 2024.
- NASCIMENTO, E. A.** Certificação ISO 14001: distribuições e aplicações na América do Sul. Universidade Federal Rural da Amazônia, 2024. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3723>. Acesso em: 4 dez 2024.
- OBSERVATÓRIO ABC.** Análise dos Recursos do Programa ABC: foco na Amazônia Legal - potencial de redução de GEE e estudo de caso sobre o Programa ABC em Paragominas. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/18743>. Acesso em: 4 dez 2024.
- OLIVEIRA, J. V. A.** Caminhos da sustentabilidade: fatores impulsionadores da criação voluntária de metas e ações de neutralização de carbono por empresas brasileiras. Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado, 2023. Disponível em: <http://tede.fecap.br:8080/handle/123456789/1116>. Acesso em: 4 dez 2024.
- PEREIRA, B. G.** A economia compartilhada como forma de alcance ao desenvolvimento sustentável. Universidade Federal do Ceará, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/62969>. Acesso em: 4 dez 2024.
- POLLES, A. C.; PINATTI, E.; ARAÚJO, L. R. S.; RIBEIRO, L. F.** Desenvolvimento de protocolo de inspeção a campo modelo público para certificação de marca-conceito Carne Carbono Neutro. Revista GeTeC, v. 10, n. 28, 2021. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/2389>. Acesso em: 4 dez 2024.
- REISCH, R. D. N.** O potencial brasileiro para gerar créditos de carbono através da conservação florestal, reflorestamento e produção agrícola sustentável. Humboldt: Revista de Geografia Física e Meio Ambiente, v. 1, n. 3, 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/humboldt/article/view/61662>. Acesso em: 4 dez 2024.
- ROCHA, W. M.** “Da belle-epoque à bréa-epoque”: relações internacionais e a governança das mudanças climáticas na Amazônia. Universidade de Brasília, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37013>. Acesso em: 4 dez 2024.
- RUWER, P. H.** "Barter Seguro": um protótipo de plataforma digital para transações de troca de grãos. 2023. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) – Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2023.
- SANTOS, C. T.** Alteração na dinâmica de carbono em rotação milho-feijão no semiárido sergipano devido às mudanças climáticas. Universidade Federal de Sergipe, 2023. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/19303>. Acesso em: 4 dez 2024.
- SANTOS, G. M.; SOUSA, S. M. M.** Crédito de carbono na agricultura familiar: uma visão dos pequenos agricultores no município de Tomé-Açu/PA. Universidade Federal Rural da Amazônia, 2024. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3622>. Acesso em: 4 dez 2024.
- SANTOS, L.; DAVID, J. M. N.; BRAGA, R.** Uma abordagem para suporte à decisão no processo de geração de créditos de carbono em propriedades rurais. In: Anais do XVIII Simpósio

- Brasileiro de Sistemas Colaborativos, 2023. p. 1-15. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/sbsc.2023.229059>. Acesso em: 4 dez 2024.
- SILVA, A. F.** Crédito de carbono no contexto brasileiro: aspectos fiscais. Universidade Federal do Ceará, 2024. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76239>. Acesso em: 4 dez 2024.
- SILVA, A. M.** Aspectos e impactos ambientais no gerenciamento de resíduos sólidos para implementação de economia circular: estudo de caso em um restaurante vegano. Instituto Federal da Paraíba, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/jspui/handle/177683/3314>. Acesso em: 4 dez 2024.
- SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; DE ANDRADE, C. A.; MARTIN-NETO, L.; BETTIOL, W.** Matéria orgânica do solo: ciclo, compartimentos e funções. Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1161302/1/Andrade-Materia-organica-2023.pdf>. Acesso em: 4 dez 2024.
- SILVA, L. A.** Startups cearenses: uma análise sob a luz do cubo da inovação sustentável. Universidade Federal do Ceará, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/67069>. Acesso em: 4 dez 2024.
- SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; LANNA, A. C.; REZENDE, C. C.; CRUZ, D. R. C.; DE MELLO FRASCA, L. L.; DE FILIPPI, M. C. C.** Sistema de plantio direto e rotação de culturas no Cerrado. Research, Society and Development, v. 11, n. 13, p. e376111335568, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/35568/29818/393807>. Acesso em: 4 dez 2024.
- SILVA, R.** Estado da arte sobre o crédito de carbono na agricultura familiar: uma análise abrangente através de uma revisão sistemática. Universidade Federal Rural da Amazônia, 2024. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3594>. Acesso em: 4 dez 2024.
- SUSTAINCERT (2023).** Certificação de Sustentabilidade e Créditos de Carbono. Disponível em: <https://sustain-cert.com>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- TEIXEIRA, F. S.** Análise das metodologias de estimativa da pegada de carbono em meios de hospedagem: vantagens, desafios e limitações. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/57539>. Acesso em: 4 dez 2024.
- TESTI, C. V.** Veículos elétricos e mobilidade urbana no Brasil: um panorama dos limites e possibilidades no início do século XXI. Universidade Estadual de Campinas, 2023. Disponível em: <https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1375198>. Acesso em: 4 dez 2024.
- VARGAS, D. B.; DELAZERI, L. M. M.; FERRERA, V. H. P.** O avanço do mercado voluntário de carbono no Brasil: desafios estruturais, técnicos e científicos. Observatório de Bioeconomia – Escola de Economia de São Paulo – FGV, 2022. Disponível em: https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/mercado_de_carbono_2.pdf. Acesso em: 4 dez 2024.

VERRA (2023). Verified Carbon Standard (VCS): Metodologias para Projetos de Carbono. Disponível em: <https://verra.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.

VERRA. VCS Methodology Requirements v4.4. Washington, DC: Verra, 2024b. Disponível em: <https://verra.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.

VERRA. VCS Program Guide v4.4. Washington, DC: Verra, 2024a. Disponível em: <https://verra.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.

VERRA. Verra e a Iniciativa Brasileira para o Mercado Voluntário de Carbono assinam acordo para aumentar a credibilidade e transparência do VCM no Brasil. 2023. Disponível em: <https://verra.org/verra-e-a-iniciativa-brasileira-para-o-mercado-voluntario-de-carbono-assinam-acordo-para-aumentar-a-credibilidade-e-transparencia-do-vcm-no-brasil/>. Acesso em: 4 dez. 2024.

ZANCHIM, G. R. Vender ou vender, eis a solução! A comercialização online de produtos agroalimentares da agricultura familiar. Universidade Federal de Uberlândia, 2023. Disponível em: <http://orcid.org/0009-0003-8097-4533>. Acesso em: 4 dez 2024.