

Inventário de carbono e diagnóstico de sustentabilidade em propriedades cafeeiras da agricultura familiar na mesorregião de São João Da Boa Vista/SP, Brasil

Recepción

11 | octubre | 2025

DOI: <https://doi.org/10.32870/cl.v2i35.8182>

Aceptación

28 | mayo | 2026

Alice Munz Fernandes*

ORCID: 0000-0003-3023-605X

Universidade Federal do Pampa, Brasil

Gilson Rogério Marcomini***

ORCID: 0000-0002-2892-5967

Instituto Federal de Educação Tecnológica de São Paulo,
Brasil

Daniel de Souza Machado**

ORCID: 0009-0002-2212-324X

Universidade Federal do Pampa, Brasil

João Victor Marcomini****

ORCID: 0009-0006-1176-8754

Centro Universitário UNIFEOB, Brasil

Resumo

A pesquisa realizada teve como objetivo diagnosticar os padrões de sustentabilidade na produção cafeeira na Mesorregião de São João da Boa Vista/SP, Brasil. Para tanto, baseou-se no framework Sustainability Assessment of Food and Agriculture System (SAFA) desenvolvido pela FAO/ONU, cujos dados foram coletados junto a 13 produtores rurais familiares. Assim, realizou-se o inventário de carbono das propriedades rurais, aferindo as emissões de gases de efeito estufa associadas a atividade cafeeira e o grau de sustentabilidade, contribuindo para a identificação de padrões e fatores determinantes para a eficiência ambiental. Os resultados demonstraram que seis produtores se classificaram como nível “desejável”, ao passo que quatro participantes se enquadraram

*Doutora em Agronegócios pela UFRGS e Pós-Doutora em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela UNIR. Docente da UNIPAMPA. Contacto: alicemunz@gmail.com

** Graduando em Agronegócio pela UNIPAMPA, com pesquisas nas áreas de inteligência competitiva, gestão do conhecimento e inovação em cadeias produtivas agroalimentares. Contacto: danieldeSouzamachado@hotmail.com

***Graduado em Administração pela UNICEP, Mestre em Sistemas de Produção na Agropecuária pela UNIFENAS e Doutor em Engenharia Agrícola pela UNICAMP. Docente do IFSP. Contacto: gilsonmarcomini@ifsp.edu.br

****Graduando em Tecnologia em Processos Gerenciais pelo IFSP. Contacto: johnmmarcomini@gmail.com

Munz, A., Marcomini, G., Marcomini, J., de Souza, D.

como “aceitável” e o restante se estabeleceram no nível “insustentável”. Reconhece a heterogeneidade de características entre os agricultores familiares produtores de café, o que implica em diferenças significativas tanto nas emissões de gases de efeito estufa, quanto na capacidade de sequestro de carbono nas propriedades.

Palavras-chave: agricultura familiar, competitividade, mudanças climáticas, práticas agrícola

Carbon inventory and sustainability diagnosis on family farm coffee in the mesoregion of São João Da Boa Vista/SP, Brazil

Abstract:

This research aimed to diagnose sustainability patterns in coffee production in the São João da Boa Vista Mesoregion of São Paulo, Brazil. It was based on the Sustainability Assessment of Food and Agriculture System (SAFA) framework developed by the FAO/UN, with data collected from 13 family farmers. A carbon inventory of the rural properties was then conducted, measuring greenhouse gas emissions associated with coffee production and the degree of sustainability, contributing to the identification of patterns and determining factors for environmental efficiency. The results showed that six producers classified themselves as “desirable,” while four participants classified themselves as “acceptable,” and the remainder as “unsustainable.” The study recognizes the heterogeneity of characteristics among family farmers producing coffee, which implies significant differences in both greenhouse gas emissions and carbon sequestration capacity on the properties.

Keywords: family farming, competitiveness, climate change, agricultural practices

Introdução

Práticas orientadas à preservação do meio ambiente figuram como basilares para o desenvolvimento das atividades agrícolas na contemporaneidade. Na produção de café isso não é diferente, cuja produtividade está intrinsicamente relacionada à instabilidade climática (Alves et al., 2024). Nesse sentido, evidencia-se que as atividades antrópicas influenciam de maneira generalizada na produção agroalimentar, principalmente em um contexto de desafios ambientais globais latentes (Blank, 2015; IPCC, 2023).

Sob essa perspectiva tem-se que o aumento significativo na concentração de gases de efeito estufa (GEEs) tornou-se uma preocupação premente na atualidade (Silva, 2024), impulsionando o aquecimento global (Aguiar, Mello & Nascimento, 2016; Pereira et al., 2024). Como consequência, o expressivo aumento da temperatura mundial corresponde a uma das características ambientais dotadas de maior complexidade e interferindo produção de alimentos (Assad & Assad, 2024).

Não obstante, no setor agrícola as atividades produtivas também têm alavancado às emissões de GEEs (Costa, 2024), o que corrobora com a iminente necessidade de adoção de práticas agrícolas sustentáveis (Bordonal, Figueiredo & La Scala Jr., 2012; Barbieri, 2020; Rodrigues & Martins, 2024). Nesse íterim,

instrumentos financeiros e econômicos em consonância a indicadores ambientais adquirem protagonismo ante a decisões gerenciais orientadas ao tripé da sustentabilidade (ambiental-econômica-social) (Porter & Linde, 1995; Ansanelli, 2011; Agustia, Sawarjuwono & Dianawati, 2019).

Assim, o inventário de carbono, entendido como o mapeamento, o registro e a quantificação das fontes reconhecidas por emissão de carbono em atividades econômicas figura como uma ferramenta de promoção de preservação ambiental (Souza et al., 2012; Souza & Andrade, 2014; Barbosa, 2024). Ou seja, trata-se de um mecanismo que contribui para a regulamentação das emissões de carbono (Sebatjane, 2025) e para o fomento do desempenho ambiental em consonância com a competitividade organizacional (Chen, Yang & Chen, 2024).

Outrossim, do mesmo modo como ocorre com as demais atividades agrícolas, a cafeicultura também executa operações que emitem GEE, sobretudo em decorrência do uso de eletricidade, combustíveis fósseis, fertilizantes nitrogenados e calcário (Belizário, 2013; Bortoluzzi et al., 2020). Nesse contexto, destaca-se a emissão de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso (Duxbury, 1994). De maneira específica, apesar de o cafeeiro ser originário do continente Africano (Da Silva Simoni, 2023), adaptou-se às condições edafoclimáticas do Brasil, figurando como fonte de emprego e renda, principalmente para produtores rurais familiares (OIC, 2023).

No entanto a viabilidade socioeconômica, a qualidade e a produtividade da cultura cafeeira enfrenta ameaças significativas em decorrência da falta de padrões climáticos evidentes, o que impacta na segurança alimentar (Salvador et al., 2025). Isso porque o Brasil é considerado um dos pilares centrais da produção e do consumo de café em âmbito global (CONAB, 2020).

Logo, evidencia-se a necessidade de estreitamento acerca de aspectos analíticos concernentes ao cultivo do café com vistas a tornar o setor efetivamente sustentável (Vasconcelos & Dos Santos, 2024). Nesse sentido, o Brasil tem expandido seu posicionamento estratégico no que concerne à qualidade, autenticidade e valorização de origem da planta, corroborando para a maximização da competitividade (Toledo, 2023).

Ante ao exposto, a pesquisa realizada teve como objetivo diagnosticar e quantificar os padrões de sustentabilidade na produção cafeeira na Mesorregião de São João da Boa Vista/SP, Brasil, importante território no cultivo de café. Para tanto adotou-se o framework Sustainability Assessment of Food and Agriculture System (SAFA) desenvolvido pela FAO/ONU. A partir disso, realizou-se o inventário de carbono das propriedades rurais participantes, aferindo as emissões de GEE associadas a atividade cafeeira e o grau de sustentabilidade, contribuindo para a identificação de padrões e de fatores determinantes para a eficiência ambiental.

Conquanto, a fim de oportunizar que produtores rurais familiares adotem efetivamente ações orientadas a mitigação das emissões de GEE é essencial empregar instrumentos mundialmente reconhecidos e adequados as múltiplas realidades (GHG Protocol, 2013). Assim, é possível tomar decisões de maneira estratégica, ambientalmente corretas e economicamente atrativas, evidenciando a pertinência do estudo realizado.

Procedimentos Metodológicos

A pesquisa realizada classifica-se como quantitativa e descritiva operacionalizada por meio de coleta de dados junto a 13 produtores familiares que produzem café na mesorregião de São João da Boa Vista/SP, Brasil. A amostra foi não-probabilística por conveniência haja vista a acessibilidade dos pesquisadores. Apesar das limitações relacionadas a este tipo de procedimento de amostragem evidencia-se que a natureza dos dados necessários para a execução da pesquisa (registros detalhados dos insumos produtivos e das informações

Munz, A., Marcomini, G., Marcomini, J., de Souza, D.

financeiras) impacta na disposição dos indivíduos em participar do estudo, exigindo maior familiaridade e acessibilidade dos pesquisadores ante ao respondente.

Ademais, embora a amostra possua dimensões reduzidas em termos numéricos, abrange uma área total de 159 hectares de café, o que possibilita uma análise diagnóstica profunda e detalhada da realidade local. Conquanto, a generalização dos resultados à outras regiões exige cautela haja vista as limitações geográficas e amostrais do estudo realizado. Salienta-se ainda que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia de São Paulo (IFSP) sob o número CAAE 46851421.6.0000.5473.

O instrumento de coleta de dados consistiu em um questionário estruturado composto por 18 variáveis e aplicado presencialmente e de maneira individualizada. As variáveis contemplavam os níveis de sustentabilidade aplicados nas atividades agrícolas em consonância com o indicador de sustentabilidade do programa de objetivos sustentáveis da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (do inglês Food and Agriculture Organization) (FAO, 2020).

Esse indicador considera a proporção de área cultivada com determinada cultura agrícola, diagnosticando os percentuais de sustentabilidade da região analisada. Ou seja, a partir de tais informações obtém-se a participação percentual de cada cultura sobre o montante e aplicam-se os critérios de mensuração da sustentabilidade definidos pelo indicador. Para tanto, considerou-se o ano agrícola de 2022 e a safra 2022/2023, período fundamental para a precisão do inventário de emissões e do balanço de carbono, elementos sensíveis às variações de manejo e clima de cada ciclo produtivo.

A mensuração das informações para o alcance do indicador de sustentabilidade abrange os seguintes itens: valor da produção; lucratividade; mecanismos de mitigação de riscos; degradação do solo; disponibilidade de água; gerenciamento de fertilizantes; gerenciamento de defensivos; agrobiodiversidade; salários, e; posse da terra. A classificação dos níveis de sustentabilidade foi realizada em consonância com o atendimento de cada estabelecimento rural aos critérios determinados nos itens, os quais foram classificados em uma das três possibilidades: (i) verde (desejável): atende a maior parte dos critérios; (ii) amarelo (aceitável): atende aos critérios mínimos para ser caracterizado sustentável, e; (iii) vermelho (insustentável): não atende aos critérios mínimos para ser caracterizado sustentável.

Para a mensuração dos níveis de sustentabilidade na agricultura, considerando os parâmetros expostos, procedeu-se com a adoção do indicador nº 2.4.1 do Programa de Objetivos Sustentáveis, especificamente o framework Sustainability Assessment of Food and Agriculture System (SAFA). Este instrumento foi selecionado por permitir uma análise multidimensional, integrando produtividade e lucratividade a fatores ambientais, tais como saúde do solo, uso de recursos hídricos e gestão de insumos.

Ademais, o indicador considera ainda a proporção de área cultivada com determinada cultura agrícola ou pecuária sobre a área total de uma região, ou em estabelecimentos rurais isolados ou agrupados. Desse modo, tornou-se necessário o levantamento da área total cultivada com culturas agrícolas em determinado perímetro, a partir da qual obtém-se a participação percentual de cada cultura sobre o montante (FAO, 2020).

Após obter-se essa classificação, procedeu-se com o agrupamento dos estabelecimentos classificados em cada nível bem como as suas áreas correspondentes a produção agrícola. Assim, encontrou-se a área total de cada nível de sustentabilidade por meio do somatório das áreas isoladas. Posteriormente, empregou-se o cálculo das proporções que cada nível ocasiona sobre a área total, definindo qual área é considerada desejável,

aceitável e insustentável, identificando as suas respectivas proporções.

Salienta-se também que um dos fatores investigados consistiu no valor bruto da produção, o qual consiste em um componente de dimensão econômica que considera a quantidade produzida pelo estabelecimento no período de análise e o preço médio de comercialização. Para tanto, a propriedade agrícola pondera acerca de todos os tipos de produção desenvolvidos no período destacado, cujo cálculo consiste na multiplicação da quantidade vendida pelo preço médio recebido por unidade de área (hectare). Ao final, somam-se todas as receitas e obtém-se o valor bruto da produção.

A partir disso, os produtores foram agrupados em uma ordem decrescente com o intuito de encontrar o 90º percentil. Ao obter-se esse valor, procede-se para a classificação da sustentabilidade, considerando-se como “desejável” os produtores que alcançaram o valor igual ou maior que 2/3 do 90º percentil; para ser “aceitável” é preciso ter o valor da produção igual ou superior a 1/3 do 90º percentil e menor que 2/3 do 90º percentil, e; para estar classificado como “insustentável” o estabelecimento necessita ter obtido valor da produção inferior a 1/3 do 90º percentil.

Por sua vez, o fator lucratividade é proveniente do saldo financeiro resultante após o pagamento de todos os desembolsos pertinentes ao negócio praticado no respectivo período, sendo obtido através da seguinte fórmula:

$$NFI = CR + Yk - OE - Dep + \Delta In$$

Na qual:

NFI = renda final para o produtor (lucro)

CR = total de receitas obtidas na propriedade

Yk = receitas provenientes de outras fontes (subsídios, prêmios, ganhos, etc.)

OE = total de gastos no período na propriedade (custos e despesas)

Dep = depreciação dos ativos

ΔIn = mudanças no inventário total da propriedade

Em seguida, os produtores foram agrupados segundo os valores de lucratividade obtidos – que quando superior a zero enquadra-se como “desejável”; igual a zero classifica-se como “aceitável”, e; “insustentável” para estabelecimentos cujo indicador mostrou-se inferior a zero (negativo). Do mesmo modo, os produtores foram organizados a partir dos níveis a que pertencem (desejável, aceitável e insustentável), somando-se a área total de cada agrupamento e a quantidade de estabelecimentos em cada classificação, indicando a proporção de cada nível percentualmente pela área.

Já o fator relacionado aos mecanismos de mitigação de riscos adota percepção de três ferramentas no contexto da propriedade rural, quais sejam: seguro agrícola, crédito rural e diversificação da produção. Para efetuar a mensuração desse indicador procedeu-se com o agrupamento dos produtores em conformidade com o quantitativo de ferramentas de mitigação de riscos que utilizavam. Assim, se o produtor adotava pelo menos uma destas ferramentas, a propriedade classificava-se como “aceitável”, ao passo que “insustentável” foi atribuído ao estabelecimento que não adotava nenhum instrumento.

Não obstante, o fator degradação do solo caracteriza-se por abordar a dimensão ambiental por meio da mensuração de quatro potenciais ameaças ao solo, quais sejam: erosão, fertilidade, lixiviação e salinização de cursos de água. Assim, procedeu-se com a mensuração da área de cada estabelecimento agrícola onde ocorre

Munz, A., Marcomini, G., Marcomini, J., de Souza, D.

a presença de erosão do solo, de perda de fertilidade do solo, de lixiviação e de salinidade de cursos de água.

Frente a caracterização da área de solos utilizados e potencialmente degradados, realizou-se a análise dos indicadores de sustentabilidade na qual a combinação das quatro ameaças em cada estabelecimento deve ser de, no máximo, 10% da área total cultivada para ser classificada como “desejável”. Se esta for de 10% a 49,99% da área total cultivada a propriedade classifica-se como “aceitável”, ao passo que será “insustentável” se a combinação das quatro ameaças em cada estabelecimento for maior que 50% da área total cultivada.

Por sua vez, o fator gerenciamento do uso de fertilizantes mensura o risco de contaminação do solo e das águas por fertilizantes e o risco ao ser humano em função da aplicação do insumo, que pode ser tanto químico quanto orgânico. Esse fator analisa o gerenciamento da utilização de fertilizantes baseado nos seguintes aspectos: dosagem; produção orgânica; rotação de culturas; ciclo vegetativo da cultura; tipo de formulação e dosagens; adoção de agricultura de precisão, e; faixa de conservação das nascentes. Se a propriedade realizasse quatro ou mais destes aspectos seria classificada como “desejável”. Enquanto entre dois e três atribuir-lhe-ia o nível “aceitável” e se a propriedade efetuar um ou nenhum critério figuraria como “insustentável”.

Já o gerenciamento do uso de defensivos concerne ao fator que mensura o risco de contaminação do meio ambiente e das pessoas por defensivos. Dessa maneira, elencaram-se os seguintes aspectos: aderência às instruções do rótulo para aplicação de pesticidas e uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI); manutenção e limpeza dos equipamentos após o uso; disposição final das embalagens de acordo com a legislação do país; aderência às instruções do rótulo para aplicação de pesticidas; adoção de boas práticas agrícolas; utilização de controles biológicos; rotação de pastagens (no caso de pecuária); remoção de partes das plantas atacadas por pragas; manutenção e limpeza dos pulverizadores, e; alternância no uso de princípios ativos no ano, visando reduzir a tolerância pelas pragas e doenças.

Para ser considerada como “desejável” a propriedade necessitava cumprir os três aspectos relacionados à preservação da saúde humana e pelo menos quatro aspectos relacionados ao meio ambiente. Para ser classificada como “aceitável” deveria atender a dois aspectos relacionados à preservação da saúde humana e pelo menos dois concernentes ao meio ambiente. Por fim, para ser enquadrada como “insustentável”, era necessário atender a menos que dois aspectos relacionados à preservação da saúde humana e ao meio ambiente.

Não obstante, a adoção de práticas de agrobiodiversidade figura como um fator baseado nos seguintes critérios: (i) pelo menos 10% da área total do estabelecimento deve ser de florestas naturais ou reflorestamentos; (ii) não é permitida a utilização de medicamentos antibióticos ou promotores de crescimento nas atividades de criação de animais (pecuária); (iii) a propriedade diversifica a produção agropecuária, na qual pelo menos duas das seguintes atividades são desenvolvidas: culturas temporárias, culturas permanentes, pecuária de corte ou de leite, silvicultura (de qualquer tipo) e aquacultura (de qualquer tipo); (iv) é realizada rotação de culturas, no mínimo a cada três anos, em pelo menos 80% da área total cultivada na propriedade. Se a propriedade atender a três destes critérios é classificada como “desejável” e, se atender no mínimo a um é caracterizada como “aceitável”. Para ser classificada como “insustentável” a propriedade não atende a nenhum desses critérios.

Outrossim, para calcular o inventário de carbono e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) é fundamental estimar as emissões em dióxido de carbono equivalente (kg CO₂ eq ha⁻¹) levando em consideração as quantidades de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) emitidas nas atividades de produção, como também adotando os fatores de emissão fornecidos pela ferramenta GHG da Agricultura (GHG Protocol Agriculture, 2014).

O dióxido de carbono equivalente (kg CO₂ eq ha⁻¹) é um indicador que permite comparar a importância de cada GEE em relação ao CO₂, especialmente no contexto da produção de energia por unidade de área ao longo de vários anos após a emissão (GHG Protocol Agriculture, 2013). Para obter esse valor, foi empregada a ferramenta de cálculo desenvolvida pela WRI BRASIL, EMBRAPA e UNICAMP, a qual permite calcular as emissões de GEE considerando uma variedade de atividades agrícolas, tais como adubação orgânica, aplicação de calcário e gesso, uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, consumo de energia elétrica, mudanças no uso da terra, operações mecanizadas, queima de resíduos vegetais e resíduos das culturas (GHG Protocol Agriculture, 2014).

No que tange ao tratamento estatístico aplicou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, considerando um nível de significância de 5%, a fim de verificar se existem diferenças estatisticamente significativas entre as medidas de emissão de CO₂ nas três classes de sustentabilidade definidas pelo modelo (desejável, aceitável e insustentável) (McKight & Najab, 2010).

Resultados e Discussão

Por meio da metodologia *Sustainable Development Goals* (SDG), desenvolvida pela FAO/ONU, o estudo realizado procedeu com a mensuração dos níveis de sustentabilidade da produção cafeeira com foco no exercício agrícola do ano de 2022, cujos parâmetros estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição das propriedades cafeeiras e da área cultivada conforme os níveis de sustentabilidade

Valor bruto da produção			
Nível de sustentabilidade	Nº de propriedades	Área (ha)	% da área total
Desejável	6	95,8	60,26%
Aceitável	4	40,2	25,30%
Insustentável	3	23	14,44%
Lucratividade de produção			
Nível de sustentabilidade	Nº de propriedades	Área (ha)	% da área total
Desejável	9	131	82%
Insustentável	4	28	18%
Risco			
Desejável	6	50	33,16%
Aceitável	6	97	64,20%
Insustentável	1	4	2,65%

Munz, A., Marcomini, G., Marcomini, J., de Souza, D.

Uso de fertilizantes			
Nível de sustentabilidade	Nº de propriedades	Área (ha)	% da área total
Desejável	5	89,6	56,32%
Aceitável	7	50,4	31,74%
Insustentável	1	19	11,94%
Uso de defensivos agrícolas			
Nível de sustentabilidade	Nº de propriedades	Área (ha)	% da área total
Desejável	8	124	78%
Aceitável	5	35	22%
Agrobiodiversidade			
Nível de sustentabilidade	Nº de propriedades	Área (ha)	% da área total
Desejável	10	135,5	85,17%
Aceitável	3	23,5	14,83%
Solo			
Nível de sustentabilidade	Nº de propriedades	Área (ha)	% da área total
Desejável	8	62,01	39%
Aceitável	3	58,83	37%
Insustentável	2	38,16	24%

Fonte: resultados da pesquisa.

O valor bruto da produção, cujo agrupamento dos produtores rurais que compuseram a amostra analisada e o cálculo de 90º percentil, resultou em um valor de R\$ 35.532,00 por hectare. Em consonância com os procedimentos metodológicos instituídos pela SDG, para se enquadrar no nível “desejável” o produtor necessita que este indicador seja superior a 67% do 90º percentil. Ou seja, R\$ 23.807,00 por hectare, ao passo que o nível “aceitável” contempla valores entre R\$ 11.725,00 e R\$ 23.806,00 enquanto os produtores que obtiveram o VBP menor que R\$ 11.724,00 por hectare são classificados como detentores de produção “insustentável”.

No que se refere a dimensão risco, os achados obtidos demonstraram a implementação, por parte dos produtores, de estratégias de mitigação das incertezas inerentes à atividade agrícola com destaque para a utilização de seguros rurais, diversificação de culturas e contratação de instrumentos de crédito agrícola. Desse modo, seis produtores são caracterizados como “desejável” por adotarem os três critérios. Não obstante, seis propriedades foram enquadradas como “aceitáveis” e um produtor apresentou o nível “insustentável”, respondendo por 2,65% da área total cultivada.

Nesse íterim, a análise dos indicadores de sustentabilidade demonstra que a agricultura familiar na região apresenta heterogeneidade produtiva, o que reflete diretamente na eficiência ambiental e econômica das propriedades. No aspecto econômico, o fato de 82% da área cultivada representar lucratividade positiva

corroborar com a premissa de que a cafeicultura familiar, quando adequadamente gerenciada, figura como um motor de viabilidade para o desenvolvimento rural, alinhando-se ao tripé da sustentabilidade e oportunizando a manutenção das atividades agrícolas e a permanência do produtor no campo (Elkington, 1997).

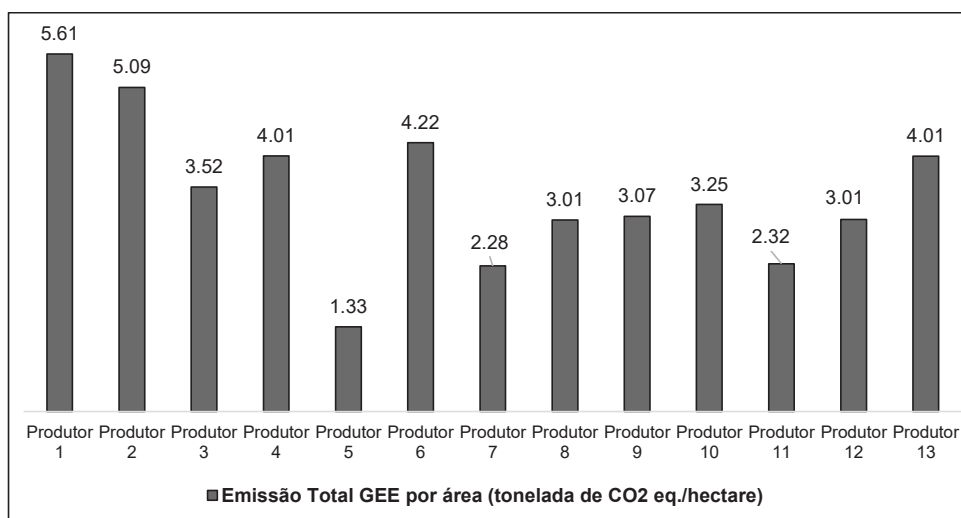
Conquanto, a concentração de 60,26% da área no nível “desejável” no âmbito do VBP, indica a busca pela maximização da competitividade agrícola. Contudo, a incidência de produtores em níveis “insustentáveis” revela a existência de vulnerabilidade técnica e econômica, o que demanda suporte contínuo orientado ao aprimoramento dos indicadores de eficiência produtiva.

Em relação ao uso de fertilizantes, os resultados demonstram que cinco produtores se classificaram no nível “desejável”, com área cultivada correspondente a 89,60 hectares e representatividade de 56,32% do total. Como “aceitável” foram sete propriedades, que cultivam 50,50 hectares (31,74%), ao passo que um indivíduo se encaixa no nível “insustentável”, respondendo por 19 hectares (11,94% da área cultivada). Desse modo, percebe-se que a maioria dos produtores e da área cultivada na região adotam práticas de gerenciamento no uso de fertilizantes visando o atendimento ao escopo sustentável.

Outro fator de análise de sustentabilidade corresponde a utilização de defensivos agrícolas, mensurado através de sete critérios. Isso porque as práticas adotadas para o uso racional de insumos agrícolas acompanhadas de tecnologia para manejo e uso do solo com ênfase na recuperação de áreas degradadas configuram-se como práticas mitigadoras de emissões de GEE (Cidin, 2016).

O fator de análise subsequente enfatiza a diversidade biológica mediante a qual verifica-se a realização de atividades de diversificação tendo em vista que um dos pilares do manejo agroecológico é o respeito integrado pelo aumento da biodiversidade (Moonen & Bárberi, 2008). Assim, esse fator congrega a existência de reserva

Figura 1. Emissão total de GEE por área cultivada com café



Fonte: resultados da pesquisa.

Munz, A., Marcomini, G., Marcomini, J., de Souza, D.

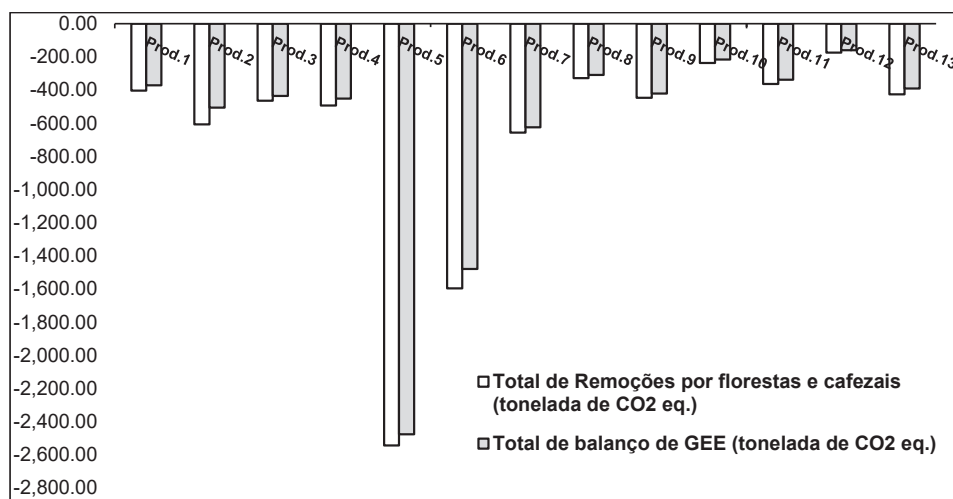
legal e áreas de preservação permanente nos estabelecimentos rurais, manejo rotacional de culturas e manejo integrado de pastagens. Os resultados evidenciam um cenário amplamente favorável, com predominância de propriedades enquadradas no nível “desejável”, o que indica a incorporação de práticas associadas ao manejo sustentável.

Não obstante, os resultados do inventário de carbono evidenciados na pesquisa estão expostos na Figura 1. Esta exhibe a emissão total de gases de efeito estufa (GEE) por área cultivada com café (em hectares) exposta em toneladas de CO₂ equivalente por hectare correspondente à safra 2022/2023.

Os processos nitrogenados são exigidos em quantidades consideráveis para o cultivo de café (Belizário, 2013). Conquanto, observa-se que o Produtor 1 responde pela maior emissão de GEE (5,61 toneladas de CO₂ eq./hectare), seguido pelo Produtor 2 (emissão de 5,09 toneladas de CO₂ eq./hectare). Ambos os produtores utilizam um sistema de fertilização do solo baseado no fornecimento de maiores quantidades de fertilizantes nitrogenados. Não obstante, Mattos Junior, Cantarella & Quaggio (2002) e Carmo et al. (2013) evidenciam que a maior emissão de N₂O deriva do processo de desnitrificação, denotando que as práticas empregadas por tais produtores se mostram menos eficientes em termos de mitigação de emissões.

Em contrapartida, o Produtor 5 destaca-se por apresentar a menor emissão de GEE (1,33 toneladas de CO₂ eq./hectare) em razão da implementação de técnicas de manejo regenerativo nos cafezais, as quais auxiliam no sequestro de carbono e na minimização da liberação das emissões. Como exemplo tem-se a adubação verde, que apresenta significativo retorno positivo como adubo verde e como controlador de pragas em consonância com a utilização de leguminosas que reduzem as emissões biogênicas (Bergo et al., 2007). De maneira específica, o referido produtor fez o plantio de 200 kg de leguminosas de maneira consorciada com o café, assegurando a adubação verde.

Figura 2. *Equilíbrio de carbono nas propriedades analisadas*



Fonte: resultados da pesquisa.

Não obstante, entre os extremos situam-se os demais produtores (emissões que variam entre 2,28 e 4,22 toneladas de CO₂ eq./hectare), que refletem a diversidade de estratégias de manejo e a incidência de distintos níveis de emissões de GEE, o que oportuniza a adoção de tecnologias que proporcionam melhorias nas práticas agrícolas. Nesse sentido, a Figura 2 expõe uma análise detalhada das remoções de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.) e do balanço de GEE nas propriedades investigadas.

As remoções de GEE evidenciam a quantidade de carbono sequestrada pelas áreas florestais e pelos cafezais mantidos por cada propriedade, ao passo que o balanço de GEE resulta da diferença entre as emissões e as remoções ocorridas na produção de café ao longo do ano. Ou seja, a partir desta equação tem-se um panorama do impacto líquido das atividades de cada produtor em termos de carbono.

Assim, observa-se que o Produtor 5 e o Produtor 6 destacam-se por apresentarem expressivos valores de remoções de GEE em função das florestas nativas existentes nas propriedades. Isto é, ambos os casos conseguem sequestrar volumes de carbono maiores do que as emissões advindas da sua produção de café. Esse desempenho é alcançado em função da presença de maiores áreas de vegetação nativa (18% e 15%, respectivamente, da área total das propriedades são de matas nativas) e ao uso de técnicas agrícolas que promovem o sequestro de carbono (técnicas de manejo regenerativo). Em contrapartida, o Produtor 12 apresenta o menor balanço de GEE, o que pode ser explicado por não haver em sua propriedade áreas de florestas nativas ou cultivadas, sugerindo menor impacto positivo em termos de sequestro de carbono uma vez que as remoções ocorrem apenas pela ação dos próprios cafezais.

Em seguida, procedeu-se com uma análise de variância por meio do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, cujos resultados demonstraram que, considerando um nível de significância de 5%, não existem provas suficientes para refutar a hipótese de que não existem diferenças estatisticamente significativas entre as emissões de CO₂ nas três classificações (aceitável, desejável e insustentável) ($p = 0,9157$).

Esse resultado indica que apesar dos agricultores familiares investigados receberem uma classificação quanto a seus níveis de sustentabilidade, as emissões de CO₂ por hectare ou as emissões totais não mostram diferenças estatisticamente significativas entre tais classificações. Logo, infere-se que a adoção de práticas gerenciais que alterem as classificações dos produtores no modelo teórico aplicado não necessariamente irá contribuir para a minimização evidente das emissões de GEE.

Uma potencial explicação para essa constatação é de que apesar das classificações de sustentabilidade serem fundamentadas em múltiplos contextos – como práticas agrícolas e gestão ambiental, por exemplo – as emissões de CO₂ podem ser afetadas por uma série de elementos que não foram considerados no mecanismo de quantificação e ordenamento proposto. Por exemplo, agricultores enquadrados no nível “aceitável” ou “desejável” podem implementar métodos que teoricamente deveriam minimizar as emissões de CO₂. Porém, é possível que encontrem obstáculos operacionais para a sua execução, como a utilização de insumos agrícolas intensivos ou práticas que não são totalmente eficientes no combate as emissões de GEE. De igual modo, produtores familiares classificados como “insustentáveis” nesse aspecto podem adotar práticas mais eficazes do ponto de vista ambiental.

Outro aspecto a se considerar é de que as emissões de CO₂ não correspondem a um elemento crítico individual capaz de avaliar a sustentabilidade da produção cafeeira. Isso porque existem múltiplos fatores tais como a utilização de recursos hídricos, a biodiversidade, o manejo de pragas, a aplicação de fertilizantes e pesticidas, além da receita financeira e da lucratividade obtida, que são essenciais para a determinação das

classificações de sustentabilidade, haja vista que estas não se limitam as emissões de CO₂.

A análise das informações disponibilizadas evidencia que as três classificações de produtores rurais familiares definidas a partir do conjunto de indicadores que embasaram essa pesquisa (desejável, aceitável e insustentável) possuem particularidades em relação às emissões GEE. Os resultados apontam para uma variação de emissões em cada grupo, destacando a diversidade nas práticas de cultivo, bem como o emprego de tecnologias e de ferramentas gerenciais implementada pelos agricultores.

Na categoria “desejável”, as emissões de GEE foram em média de 3,55 toneladas de CO₂ equivalentes por hectare, com desvio padrão de 1,25 toneladas. Esse achado indica que as práticas de gestão nem sempre são implementadas de forma homogênea. Por sua vez, o balanço de GEE exibe uma média de -757 toneladas de CO₂ equivalentes e desvio padrão de -744 toneladas, sugerindo que ocorre o sequestro de carbono e a existência de expressiva variação entre os produtores.

Na categoria “aceitável” observa-se que a média das emissões totais de GEE por área é de 3,31 toneladas CO₂ equivalentes por hectare e desvio padrão de 1,01 toneladas. Essa dispersão sugere que existem diferenças substanciais nas técnicas empregadas, que impactam na variação das emissões. No que diz respeito ao balanço de GEE, os valores médios de emissão correspondem a -527 toneladas CO₂ equivalentes por hectare, demonstrando que há produtores que estão sequestrando mais carbono do que estão emitindo.

Por outro lado, a categoria “insustentável” exibe as maiores emissões de CO₂, com média de 3,62 toneladas equivalentes por hectare. Contudo, diferente do que ocorreu nos demais grupos, a variação nas emissões é pequena, cujo desvio padrão é de 0,81 toneladas de CO₂ equivalentes por hectare. Assim, o cultivo de café praticado pelos produtores apesar de gerar maiores emissões de GEE, estas são mais homogêneas.

No que compete ao balanço das emissões, os produtores enquadrados na categoria “insustentável” apresentam média de -359 toneladas de CO₂ eq. Porém, o desvio padrão de 135 toneladas de CO₂ equivalentes por hectare aponta para uma variação reduzida entre os produtores dessa classificação, indicando uma consistência maior nas práticas implementadas, embora estas não assegurem necessariamente a eficácia na redução de emissões.

Considerações Finais

A presente pesquisa teve como objetivo diagnosticar os padrões de sustentabilidade e mensurar as emissões de gases de efeito estufa em propriedades cafeeiras da agricultura familiar na mesorregião de São João da Boa Vista/SP, Brasil com base no framework proposto pela FAO/ONU. Tendo em vista a relevância do setor agrícola na dinâmica das mudanças climáticas, entender esse equilíbrio torna-se essencial para a formulação de estratégias eficazes de mitigação.

A avaliação da sustentabilidade na produção cafeeira evidencia avanços relevantes na adequação das práticas agrícolas aos princípios de desenvolvimento sustentável. Os resultados obtidos indicam que os agricultores familiares têm empreendido esforços consistentes na adoção de práticas alinhadas ao tripé da sustentabilidade (econômica, ambiental e social). Tais avanços refletem-se diretamente nos indicadores analisados, incluindo o valor bruto da produção, a lucratividade, a gestão de riscos, o manejo de fertilizantes e defensivos, bem como as práticas relacionadas a agrobiodiversidade.

No que diz respeito ao valor bruto da produção, constatou-se que a maior parte da área cultivada é classificada como “desejável”, evidenciando a preocupação dos produtores em atingir uma produção lucrativa.

Em contrapartida, a existência de agricultores que não se enquadram nesse grupo indica a necessidade constante de suporte técnico e financeiro para aprimorar a produtividade e alavancar os indicadores econômicos. Não obstante, a lucratividade da produção também se destaca em 82% da área cultivada, denotando que há uma parcela expressiva de produtores que conseguem obter retorno financeiro positivo com o cultivo de café a partir das práticas empregadas

Em relação à gestão de riscos, os achados obtidos demonstraram que majoritariamente na área cultivada há a implementação de ferramentas que auxiliam neste processo, como seguro agrícola, diversificação da produção e acesso ao crédito, demonstrando que os agricultores familiares buscam atenuar vulnerabilidades econômicas e ambientais. Por sua vez, o gerenciamento do uso de insumos, como fertilizantes e defensivos, elucidou que a maioria dos produtores implementa práticas que atendem aos critérios de sustentabilidade, tais como adubação verde, controle integrado de pragas e métodos seguros de aplicação de agrotóxicos.

Não obstante, a avaliação da agrobiodiversidade evidenciou um panorama favorável, no qual a maior parte dos agricultores investigados preserva reservas legais e áreas de preservação permanente, além de adotarem a rotação de culturas. Já a análise do inventário de carbono na produção de café evidenciou diferenças significativas nas emissões de GEE entre os produtores, as quais podem ser explicadas pelas estratégias gerenciais, de uso de recursos agrícolas e a existência de áreas com vegetação nativa. O balanço das emissões demonstrou que propriedades rurais com maior presença de vegetação nativa têm maior capacidade de gerar impacto positivo, sequestrando mais carbono do que emitem, ao passo que aquelas que não possuíam florestas ou que não praticavam o manejo regenerativo tiveram resultados desfavoráveis.

Desse modo, os contributos da pesquisa realizada respaldam-se na importância da abordagem integrada para a promoção efetiva da sustentabilidade na agricultura familiar, oportunizando combinar a mitigação das emissões de GEE com a maximização da capacidade de sequestro de carbono. Para tanto, reconhece-se a necessidade de empregar um esforço coletivo e articulado, que envolva os agricultores familiares, os formuladores de políticas públicas e os stakeholders das cadeias produtivas a fim de incentivar também a adoção de inovações tecnológicas na produção cafeeira.

Não obstante, reconhecem-se as limitações do estudo, especialmente no que se refere a sua delimitação geográfica, uma vez que a amostra não contempla a totalidade dos produtores familiares dedicados a cafeicultura no estado de São Paulo, Brasil. Nesse contexto, recomenda-se que pesquisas futuras ampliem o escopo de análise, incorporando diferentes regiões produtoras do país, de modo a oportunizar comparações entre práticas adotadas em distintos contextos produtivos. Ademais, sugere-se a realização de Avaliações de Ciclo de Vida (ACV) do café, considerando os impactos ambientais ao longo de toda a cadeia produtiva e não apenas na etapa de produção ('dentro da porteira').

Referências

- Aguiar, H., Mello, A. M. & Nascimento, P. T. S. (2016). Certificação de sistema de gestão ambiental: alternativas possíveis. *Revista Gestão Organizacional*, 8(1).
- Agustia, D., Sawarjuwono, T., & Dianawati, W. (2019). The mediating effect of environmental management accounting on green innovation: firm value relationship. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2), 299-306.

Munz, A., Marcomini, G., Marcomini, J., de Souza, D.

- Alves, H. M. R., Volpato, M. M. L., Borém, F. M., MARQUES JÚNIOR, J., Siqueira, D. S., Hamada, E., ... & Borém, R. A. T. (2024). Efeitos das características ambientais na qualidade do café. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*, 45(327), 17-26.
- Ansanelli, S. L. M. (2011). Exigências ambientais europeias: novos desafios competitivos para o complexo eletrônico brasileiro. *Revista Brasileira de Inovação*, 10(1):129-160.
- Assad, E. D., & Assad, M. L. R. C. L. (2024). Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. Desafios e oportunidades. *Estudos Avançados*, 38, 271-292.
- Barbieri, J. C. (2020). *Desenvolvimento sustentável: das origens à Agenda 2030*. São Paulo, Editora Vozes.
- Barbosa, A. B. (2024). Inventários de gases de efeito estufa para a gestão ambiental corporativa: cenário brasileiro e estudo de caso. *revista UNICREA-Revista Técnico Científica da Universidade Corporativa do Crea-SC*, 2(1), 177-198.
- Belizário, M. (2013). *Estoque de carbono no solo e fluxo de gases de efeito estufa no cultivo de café*. 143 p. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo.
- Bergo, C. L., Lunz, A. M. P., Pacheco, E. P., Mendonça, H. A. D. & Marinho, J. T. D. S. (2007). Efeito de adubação verde no crescimento e produtividade do cafeeiro. *Anais... Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 5, Águas de Lindóia.
- Blank, D. M. P. (2015). O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. *Mercator (Fortaleza)*, 14, 157-172.
- Bordonal, R., Figueiredo, E. B. & La Scala Jr. N. (2012). Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest, considering other conservationist management practices. *GCB Bioenergy*, 4(6): 846-858.
- Bortoluzzi, C. A. P., Chiossi, S., Camargo, T. F., Manfroí, L., & Correa, J. D. (2020). Contabilidade de custos e formação do preço de venda: um estudo de caso em uma padaria. *ABCustos*, 15(1), 176-206.
- Carmo, J. B. D., Filoso, S., Zotelli, L. C., de Sousa Neto, E. R., Pitombo, L. M., Duarte-Neto, P. J., ... & Martinnelli, L. A. (2013). Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. *Gcb Bioenergy*, 5(3), 267-280.
- Chen, W. H., Yang, Y. M., & Chen, H. N. (2024). Determinants of Carbon Inventory and Systematic Innovation Methods to Analyze the Strategies of Carbon Reduction: An Empirical Study of Green Lean Management in Electroplating an Factory. *Sustainability*, 16(19), 8301.
- Cidin, A. C. M. (2016). *Estoque de Carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa*. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/8586/DissACMC.pdf?sequence=1>>. Acesso em 02 ago. 2025.
- CONAB. (2020). Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira: Café*, (5)4.
- Costa, G. F. da. (2024). *Clusters agropecuários e as emissões de gases de efeito estufa nos municípios da região*

- Nordeste: Uma perspectiva especial*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Paraíba.
- Da Silva Simoni, R. C. (2023). História, usos, crenças e valores místicos do café dentro das tradições afro-diaspóricas/umbanda. *Revista Caminhos-Revista de Ciências da Religião*, 21(1), 46-58.
- Duxbury, J. M. (1994). The significance of agricultural sources of greenhouse gases. *Fertilizer Research*, 38(2):151-163.
- Elkington, J. (1997). The triple bottom line. *Environmental Management: Readings and Cases*, 2, 49-66.
- FAO. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *SDG Indicator 2.4.1: the indicator's framework*. Disponível em: <<http://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/241/en/>> Acesso em: 20 out. 2023.
- GHG Protocol Agriculture. (2014). *Metodologia GHG protocol para Agricultura*. São Paulo: Unicamp; WRI Brasil. Greenhouse Gas Protocol. Online. Disponível em: <www.ghgprotocol.org/Agriculture-Guidance/Visão-Geral%3AProjeto-Brasil-Agropecuária> Acesso em: 07 out. 2023.
- GHG Protocol Agriculture. (2013). *Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP/WRI*. Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa: especificações do programa brasileiro GHG protocol. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/proclima/inventario-de-geeempreendimentos/385-inventarios-corporativos>> Acesso em: 5 out. 2023.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Mudanças climáticas 2023: Relatório síntese*.
- Mattos Junior, D., Cantarella, H. & Quaggio, J. A. (2002). Perdas por volatilização do nitrogênio fertilizante aplicado em pomares de citros. *Laranja, Cordeirópolis*, 23(1):263-270.
- Moonen, A. C. & Bárberi, P. (2008). Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127:7-21.
- McKight, P. E., & Najab, J. (2010). Kruskal-wallis test. *The corsini Encyclopedia of Psychology*, 1-1.
- OIC. (2023). Organização Internacional do Café. *Historical Data on the Global Coffee Trade*. Disponível em: <http://www.ico.org/new_historical.asp>. Acesso em 20 out. 2023.
- Pereira, B. M., Rufino, J. P. F., Neto, P. Q. C., Silva, C. A., Pereira, A. M. & Souza, L. S. S. (2024). Inventário de carbono como instrumento de controle das emissões dos gases do efeito estufa no polo industrial de Manaus: uma revisão. *Observatório De La Economía Latinoamericana*, 22(7):e5908-e5908.
- Porter, M. E. & Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4):97-118.
- Rodrigues, M. R. A., & Martins, M. M. V. (2024). Exigências ambientais aos produtos importados: preocupação ambiental ou protecionismo disfarçado? *Texto para Discussão*, nº 2963.
- Salvador, H. P., Berilli, A. P. C. G., Rodrigues, W. P., Mazzafera, P., & Partelli, F. L. (2025). A climate change perspective on the selection, development, and management of *Coffea canephora* genotypes. In *Advances*

Munz, A., Marcomini, G., Marcomini, J., de Souza, D.

in botanical research (Vol. 114, pp. 283-315). Academic Press.

Sebatjane, M. (2025). Sustainable inventory models under carbon emissions regulations: Taxonomy and literature review. *Computers & Operations Research*, 173, 106865.

Silva, E. (2024). *Processos de subjetivação: Das relações de poder à ética do cuidado de si* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Maranhão). Repositório Institucional da UFMA.

Souza, A. L., Paiva, D. S., Andrade, J. C. S., Junior, A. C. S. & Goulart, R. C. (2012). O mercado internacional de créditos de carbono: Estudo comparativo entre as vertentes regulada e voluntária no Brasil no período de 2004 a 2011. *Sistemas & Gestão*, 7(4), 526-544.

Souza, A. L. R. & Andrade, J. C. (2014). Análise do mercado de carbono voluntário no Brasil: um estudo sobre o perfil dos projetos de redução de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). *Revista Metropolitana de Sustentabilidade*, 4(1):52-75.

Toledo, E. F. T. (2023). Uma aproximação conceitual entre a Geografia e a Indicação Geográfica: O exemplo das IGs na cafeicultura. *Ciência Geográfica*, 27(3), 1953–1985.

Vasconcelos, E., & Dos Santos, F. (2024). Eficiência produtiva e sustentabilidade agrícola: integração de dados quantitativos para planejamento estratégico. *ARACÊ*, 6(4), 11973-11996.