

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

INVENTÁRIO DE CARBONO EM PROPRIEDADES CAFEEIRAS NA MESORREGIÃO DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA, SP.

GILSON ROGÉRIO MARCOMINI¹; JOÃO VICTOR MARCOMINI²;

¹Professor Doutor no IFSP, Campus São João da Boa Vista, SP, gilsonmarcomini@ifsp.edu.br

²Graduando em Tecnologia em Processos Gerenciais, IFSP, Campus São João da Boa Vista, SP, Bolsista PIBIFSP, johnmmarcomini@gmail.com

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 6.02.03.00-5 Administração de Setores Específicos

RESUMO: O cafeiro é originário da África e teve uma produção global na safra 2023/2024 de 178,0 milhões de sacas e 177,0 milhões consumidas, com Brasil, Vietnã e Colômbia líderes na produção. Entre 2011 e 2020 as temperaturas globais subiram em média 1 °C, resultando em eventos climáticos extremos, sendo impactados pelas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). A cafeicultura contribui para essas emissões especialmente pelo uso de fertilizantes químicos e combustíveis fósseis. O objetivo deste estudo é realizar o inventário de carbono e diagnosticar os níveis de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) em pequenas propriedades de café da mesorregião de São João da Boa Vista, SP, com a hipótese de que a adoção de práticas agrícolas que promovem o sequestro de carbono, como as técnicas de manejo regenerativo, alinhados com a presença de áreas de vegetação nativa, influenciam significativamente as emissões de GEE e o sequestro de carbono. Os resultados mostram que os produtores analisados apresentaram saldo de carbono negativo, sendo que aqueles que possuem maiores áreas de vegetação nativa e adotam práticas agrícolas que promovem o sequestro de carbono tiveram melhor desempenho na mitigação das emissões.

PALAVRAS-CHAVE: cafeicultura; dióxido de carbono; efeito estufa; sustentabilidade; mudanças climáticas

CARBON INVENTORY IN COFFEE FARMS IN THE MESOREGION OF SÃO JOÃO DA BOA VISTA, SP.

ABSTRACT: The coffee plant is native to Africa and had a global production of 178.0 million bags in the 2023/2024 harvest and 177.0 million consumed. Brazil, Vietnam, and Colombia are the leading producers. Between 2011 and 2020, global temperatures increased by an average of 1 °C, leading to extreme weather events that were influenced by greenhouse gas (GHG) emissions. Coffee cultivation contributes to these emissions, particularly through the use of chemical fertilizers and fossil fuels. The aim of this study is to conduct a carbon inventory and diagnose the levels of greenhouse gas (GHG) emissions in small coffee farms in the mesoregion of São João da Boa Vista, SP. The hypothesis is that the adoption of agricultural practices that promote carbon sequestration, such as regenerative management techniques, along with the presence of native vegetation areas, significantly influences GHG emissions and carbon sequestration. The results show that the analyzed producers had a negative carbon balance, with those who have larger areas of native vegetation and adopt agricultural practices that promote carbon sequestration performing better in mitigating emissions.

KEYWORDS: Coffee farming; carbon dioxide; greenhouse effect; sustainability; Climate change

INTRODUÇÃO

O cafeeiro é originário do continente africano onde ocorre como planta de bosque, no qual a produção mundial na safra 2020/2021 foi de 175,34 milhões de sacas, enquanto o volume exportado foi de 129,47 milhões de sacas de 60 kg, ao passo que o consumo mundial foi de 166,34 milhões de sacas, na safra 2020/2021 (OIC, 2022). O agronegócio do café encontra a participação de três “players” importantes: Brasil, Vietnã e Colômbia, no qual o Brasil produziu 52,8 milhões de sacas na safra 2018/19, exportou 33,49 milhões de sacas e consumiu internamente 21,22 milhões de sacas, ao passo que na safra 2023/24, o país produziu 59,1 milhões de sacas, exportou 39,24 milhões de sacas e consumiu internamente 22,70 milhões de sacas (CECAFE, 2024; OIC, 2024). A sustentabilidade tem escopo complexo, uma vez que prevê que as ações das pessoas devem atender às necessidades humanas atuais, bem como permitir que no futuro as novas gerações também possam satisfazer suas necessidades (Estender; Pitta, 2008). Um aspecto relevante no âmbito da sustentabilidade refere-se ao fato de que a miríade de atividades agrícolas contribui para potencializar as mudanças climáticas globais, sobretudo devido às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), as transformações no uso da terra e o consumo de combustíveis fósseis (Lessin; Ghini, 2009). Além disso, o setor primário enfrenta as consequências do aquecimento global, especialmente no que concerne à distribuição pluviométrica e às intensas variações de temperatura (Bordonal; Figueiredo; La Scala, 2012). Outrossim, tem-se que a maximização nos indicadores de GEE é proveniente de atividades antrópicas, cujas concentrações indicam maior incidência na atmosfera. O mesmo cenário se repete no aumento da temperatura global, uma vez que entre 2011 e 2020 as temperaturas superaram em 1 °C em comparação com o ano de 1900 (Masson-Delmotte; Zhai; Pirani, 2021). Isso resultou em eventos climáticos extremos, como ondas de calor, chuvas fortes, secas prolongadas e ciclones tropicais. Porém, na atualidade, os picos de calor são mais frequentes e intensos, ao passo que os extremos de frio são menos frequentes e rigorosos. Nesse sentido, estima-se que a temperatura da superfície global continuará a subir até pelo menos 2050, com projeções de aquecimento global de 1,5 °C a 2 °C, a menos que as emissões de gases de efeito estufa sejam reduzidas (Masson-Delmotte; Zhai; Pirani, 2021).

Nesse sentido, reconhece-se que na cafeicultura envolve etapas de produção que emitem carbono e outros gases de efeito estufa, principalmente devido ao uso de eletricidade, combustíveis fósseis, fertilizantes nitrogenados e calcário (Belizário, 2013). Para permitir que os produtores rurais adotem ações visando a mitigação desses gases, torna-se essencial que inicialmente seja realizado um inventário de emissões de GEE na produção agrícola – o que deve ser um processo contínuo, envolvendo a identificação e o cálculo das emissões (GHG Protocol, 2013). Para tanto, é necessário utilizar metodologias ou protocolos reconhecidos, como o GHG Protocol que foi desenvolvido nos Estados Unidos e é amplamente utilizado em todo o mundo (GHG Protocol, 2013). Portanto, o desenvolvimento de estudos que possibilitem a criação de um inventário de emissões de GEE na cafeicultura e na vitivinicultura figura como estrategicamente interessante para o setor primário do país, sobretudo tendo em vista a representatividade econômica e a natureza familiar de tais atividades (Oliveira Júnior; Da Silva, 2016).

Além disso, tem-se um *gap* de estudos científicos que abordem sobre a mensuração dos níveis de sustentabilidade na produção cafeeira e vitícola do Brasil. Essa lacuna foi observada por meio de uma pesquisa na base de dados *Web of Science* adotando-se os seguintes termos de busca e operadores booleanos: “*Sustainability*” AND “*Coffee*”. O resultado obtido demonstrou a existência de 25 artigos brasileiros sobre sustentabilidade na produção de café. Em adição, procedeu-se com uma pesquisa sobre o inventário de carbono e a emissão de gases de efeito estufa a partir dos seguintes termos de busca e operadores booleanos: “*Carbon Inventor*” AND “*Coffee*” – o que resultou em somente três artigos. Essa situação sugere a escassez de estudos focados na mensuração da sustentabilidade e na investigação sobre a emissão de gases de efeito estufa na produção de café. Logo, emerge a necessidade de intensificar esforços e incentivos para pesquisas orientadas a mensuração da sustentabilidade e a emissão de gases de efeito estufa de tais produtos agrícolas no Brasil.

O objetivo geral dessa pesquisa é realizar o inventário de carbono e diagnosticar os níveis de emissão de gases de efeito estufa nas propriedades rurais que produzem café na Mesorregião de São João da Boa Vista, SP, com a hipótese de que a adoção de práticas agrícolas que promovem o sequestro de carbono, como as técnicas de manejo regenerativo, alinhados com a presença de áreas de vegetação nativa, influenciam significativamente as emissões de GEE e o sequestro de carbono.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo realizou o inventário de carbono e diagnosticou os níveis de emissão de gases de efeito estufa nas propriedades rurais que produzem café na Mesorregião de São João da Boa Vista, SP, sendo um trabalho de natureza quantitativa, com temporalidade transversal por contemplar um período, ou seja, os dados da safra 2022/2023, além de se caracterizar como uma pesquisa de natureza explicativa e descritiva. Também obteve informações referentes a uma amostra de 13 produtores, selecionados de maneira intencional, nas cidades participantes, mediante contato direto com os mesmos, com o intuito de expor o retrato da região analisada, por meio do levantamento de dados primários (Gil, 2009). Trata-se de uma amostra não-probabilística intencional, com coleta de dados por meio de aplicação de questionários, com coleta de informações primárias realizada por entrevista direcionada por um roteiro com 18 itens (questionários) estruturados e em formato aberto, com produtores das cidades apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Cidades participantes do estudo

MUNICÍPIO	Unidades de Produção Agrícolas (UPAs)	Área (ha)
Espírito Santo do Pinhal	584	7.779,40
São Sebastião da Gramá	289	6.527,30
Santo Antônio do Jardim	457	4.157,30
Divinolândia	730	3.967,90

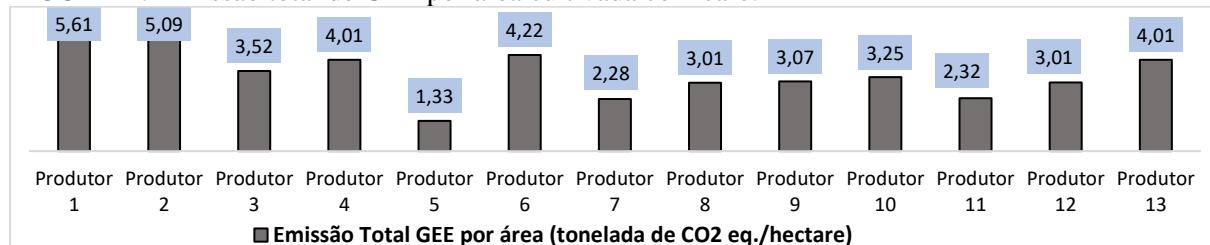
Fonte: o autor baseado em LUPA (2016/17)

Para calcular o inventário de carbono e emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), é fundamental estimar as emissões em Dióxido de Carbono Equivalente (kg CO₂ eq. ha⁻¹), considerando as quantidades de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) emitidos 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, 2014). Para obter esse valor, o estudo utilizará a Ferramenta de Cálculo desenvolvida pela WRI BRASIL, Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e Unicamp (Universidade Estadual de Campinas). Essa ferramenta permite calcular as emissões de GEE, concentrando-se nas fontes de emissão e remoção de GEE nas fazendas. Ela considera uma variedade de atividades agrícolas, 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 (WRI BRASIL; UNICAMP, 2015). Essa abordagem abrangente é essencial para entender e quantificar o impacto ambiental da produção agrícola, especialmente no que diz respeito às emissões de GEE. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em pesquisa do IFSP sob o número CAAE 46851421.6.0000.5473

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do inventário de carbono desenvolvidos no estudo são evidenciados pelas Figuras 01 e 02, no qual a Figura 01 exibe 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

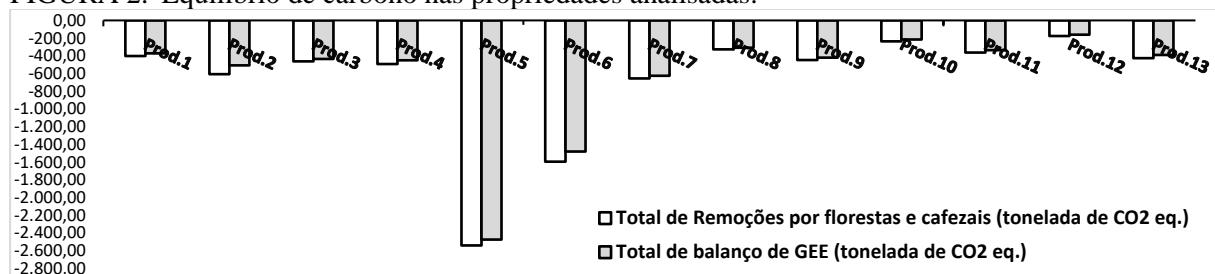
FIGURA 1. Emissão total de GEE por área cultivada com café.



Fonte: dados do estudo

Observa-se que o produtor 1 apresenta a maior emissão de GEE (5,61 toneladas de CO₂ eq./hectare), bem como o produtor 2 (emissão de 5,09 toneladas de CO₂ eq./hectare) em virtude de adotarem um sistema de fertilização do solo com fornecimento de maiores quantidades de fertilizantes nitrogenados em várias parcelas ao longo do ano (dados do estudo), pelo qual se percebe que as tecnologias utilizadas por esses produtores são 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, que ajudam a sequestrar carbono e minimizar a liberação de gases de efeito estufa, como a adubação verde nos cafezais, utilizando leguminosas, reduzindo as emissões biogênicas em 72 tonelada de CO₂ eq. por hectare, no qual a adoção de leguminosas como adubação verde promove a remoção biogênica, que consta da fixação biológica do carbono pela fotossíntese (Kiehl, 1965). No caso citado, o produtor fez o plantio de 200 kg de leguminosas em consorciação com o café, como forma de adubação verde e cobertura morta do solo, gerando a redução citada nas emissões biogênicas (dados do estudo). Entre esses dois extremos estão os demais produtores (emissões que variam entre 2,28 e 4,22 toneladas de CO₂ eq./hectare), no qual reflete a diversidade de estratégias de manejo utilizadas e demonstra que muitos produtores operam com níveis de emissões que possibilitam a adoção de tecnologias que proporcionam melhorias nesses indicadores, sendo que a variação nas emissões está relacionada a fatores como a dimensão das propriedades, utilização de fertilizantes nitrogenados, e a ausência de fatores de emissões biogênicas (como a implementação de técnicas de manejo regenerativo que sequestram carbono e minimizam as emissões de gases de efeito estufa, como a adubação verde nos cafezais). A figura 2 oferece uma análise detalhada das remoções de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.) e do balanço de gases de efeito estufa (GEE).

FIGURA 2. Equilíbrio de carbono nas propriedades analisadas.



Fonte: dados do estudo

As remoções de GEE mostram as quantidades de carbono sequestrados pelas áreas florestais e pelos cafezais mantidos por cada produtor, ao passo que o balanço de GEE resulta da diferença entre as emissões e as remoções de GEE ocorridas na produção de café ao longo do ano, o que permite ter um panorama do impacto líquido das atividades de cada produtor em termos de carbono. Vê-se que os produtores 5 e 6 destacam-se por apresentarem os altos valores de remoções de GEE por florestas nativas existentes na propriedade, como também pelos próprios cafezais, o que evidencia que esses produtores têm um resultado de impacto ambiental líquido positivo (conseguem sequestrar volumes de carbono maiores que as emissões da produção de café). Esse desempenho é alcançado em função da presença de maiores áreas de vegetação nativa (18% e 15% da área total da propriedade são com 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 pelo fato de não possuir áreas de florestas nativas ou plantadas na propriedade, sugerindo menor impacto positivo em termos de sequestro de carbono, pelo qual as remoções ocorrem apenas pela ação dos cafezais.

CONCLUSÕES

O estudo realizou o inventário de carbono e diagnosticou os níveis de emissão de gases de efeito estufa nas propriedades rurais que produzem café na Mesorregião de São João da Boa Vista, SP, com a hipótese de que a adoção de práticas agrícolas que promovem o sequestro de carbono, como as técnicas de manejo regenerativo, alinhados com a presença de áreas de vegetação nativa, influenciam significativamente as emissões de GEE e o sequestro de carbono. Dada a relevância do setor agrícola na dinâmica das mudanças climáticas, entender esse equilíbrio torna-se importante para a formulação de

estratégias eficazes de mitigação, pelo qual é possível verificar que todos os produtores analisados no estudo apresentaram saldo negativo de carbono — o que evidencia que as remoções de carbono superam as emissões geradas no manejo da lavoura cafeeira. Nesse contexto, os resultados apontam que as oscilações no equilíbrio de carbono é estreitamente relacionado ao tamanho das áreas de vegetação nativa de cada propriedade (geralmente as áreas de reserva legal), como também pela área cultivada com cafezais e também devido às práticas de manejo implementadas em cada propriedade. Permite-se expor a respeito da importância da preservação de áreas florestais (reserva legal) e da adoção de práticas de manejo sustentável como estratégias-chave para a mitigação das mudanças climáticas. Apesar de todos os produtores terem alcançado um saldo de carbono negativo, ocorre grande dissimilaridade nas quantidades de carbono sequestrado entre eles, sugerindo a ocorrência de uma lacuna para melhorias, visto que a análise das emissões por hectare revela variações substanciais, com algumas propriedades mostrando altas emissões por hectare, mesmo em áreas menores. Esse fenômeno evidencia que as práticas agrícolas podem estar contribuindo para uma maior carga de emissões indicando a necessidade de práticas mais sustentáveis e eficientes, visto que as diferenças nas práticas de manejo (incluindo o uso de insumos agrícolas e a gestão dos cafezais), têm um impacto direto na quantidade de emissões geradas e na sustentabilidade das propriedades. O estudo reafirma a importância de uma abordagem integrada para a sustentabilidade na agricultura, o qual combine a redução das emissões de GEE com o aumento da capacidade de sequestro de carbono, sendo necessário um esforço coletivo que envolva produtores, políticas públicas e a adoção de inovações tecnológicas visando maior equilíbrio de carbono na produção cafeeira.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

J.V.M. e G.R.M. contribuíram com ao levantamento, processamento e análise dos dados. G.R.M. desenvolveu a redação do trabalho e todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a DEUS e ao Instituto Federal de Educação Tecnológica de São Paulo pelo apoio financeiro no trabalho.

REFERÊNCIAS

- BELIZÁRIO, M. **Estoque de carbono no solo e fluxo de gases de efeito estufa no cultivo de café**. 2013. 143 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 2013.
- BORDONAL, R.O.; FIGUEIREDO, E.B.; LA SCALA N.; Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to Green harvest, considering other conservationist management practices. *Global Change Biology. Bioenergy*, Oxford, n. 4, p. 846-858, 2012.
- CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL (CECAFE). Exportações Brasileiras de Café. 2024. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/dados-estatisticos/exportacoes-brasileiras/> Acesso em 24 set. 2024.
- COSTA, A.A.V.M.R. Agricultura Sustentável I: Conceitos. *Revista de Ciências Agrárias* v. 33, nº 2, p. 61–74.2010
- DUXBURY, J. M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. *Fertilizer Research*, Oxford, v. 38, n. 2, p. 151-163, 1994.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO/ONU). **SDG Indicator 2.4.1: the indicator's framework**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/241/en/> Acesso em 20 jun. 2024
- GHG PROTOCOL DA AGRICULTURA. **Metodologia GHG protocol para Agricultura**. São Paulo: Unicamp; WRI Brasil, 2014. Greenhouse Gas Protocol. Online. Disponível em: www.ghgprotocol.org/Agriculture-Guidance/Visão-Geral%3AProjeto-Brasil-Agropecuária Acesso em: 07 mai. 2024.
- GHG PROTOCOL. 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.2.** ed. São Paulo, 2013. Disponível em:

<<http://www.cetesb.sp.gov.br/proclima/inventario-de-geeempreendimentos/385-inventarios-corporativos>> Acesso em: 5 mai. 2024.

FREEDMAN, David A. Modelos estatísticos: teoria e prática. Cambridge University Press, 2009.

GIL, A.C.: **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Produção Agrícola Municipal. Tabela 6588. 2022.

LESSIN, R C.; GHINI, R. **Efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre o ódio e o crescimento de plantas de soja**. Tropical Plant Pathology, Campinas, v. 34, n. 6, p. 385-392, dez. 2009.

MARTINS, G. de A.; THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para Ciências Sociais aplicadas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A. Climate change 2021: the physical science basis : summary for policymakers : working group I contribution to the sixth **Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2021.

OLIVEIRA JÚNIOR, G. G. DE; DA SILVA, A. B. Estimativa Da Emissão De Gases De Efeito Estufa Nos Tratos Culturais Mecanizados Da Cultura Do Cafeeiro. **XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS**. Anais... Em: XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS. POÇOS DE CALDAS: 21 set. 2016.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ (OIC). Historical Data on the Global Coffee Trade. 2024. Disponível em: http://www.ico.org/new_historical.asp Acesso em 24 set. 2024

PEARCE, D. Substitution and sustainability: some reflections on Georgescu-Roegen. **Ecological Economics**, v. 22, n. 3, p. 295–297, 1997. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800997000876>. Acesso em: 29 set. 2023.

VOLPATO, G.L. O método lógico para redação científica. 2^a edição. Editora Best Writing, 2017.

WRI BRASIL; UNICAMP. Metodologia do GHG Protocol da agricultura, 2015.