**VOLUMES 13 E 14 · JANEIRO DE 2022 A DEZEMBRO DE 2023 · DOI:10.54682/ier.v13e14** Publicação do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural Incaper le revista Ciclo do Carbono e Sustentabilidade na Produção Agropecuária CO, CO, Incape

## **VOLUMES 13 E 14 - JANEIRO DE 2022 A DEZEMBRO DE 2023 - DOI:10.54682/ier.V13e14**

Publicação do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural





# © 2023 – Incaper

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

Rua Afonso Sarlo, 160, Bento Ferreira, Vitória, ES – Brasil

Caixa Postal 391 CEP 29052-010 Tel.: 55 27 3636-9888/3636-9800 incaperemrevista@incaper.es.gov.br

www.incaper.es.gov.br

https://editora.incaper.es.gov.br

ISSN 2179-5304 E-ISSN 2764-5339 DOI:10.54682/ier v. 13 e 14

Jan. 2022 a Dez. 2023

Editor: Incaper Formato: Digital

# Coordenação Editorial

Aparecida Lourdes do Nascimento Marcos Roberto da Costa (Coordenação Adjunta)

## Comitê Editorial do Periódico Incaper em Revista

# **Presidente**

Merielem Frasson da Silva

## Editora Técnica

Vanessa Alves Justino Borges

#### **Membros**

Agno Tadeu da Silva Alessandra Maria da Silva Bernardo Lima Bento de Mello Inorbert de Melo Lima José Aires Ventura Mauricio José Fronazier Rogério Carvalho Guarçoni Vanessa Alves Justino Borges

# Equipe de Produção

## Revisão Textual

Luiza Pagotto Monteiro Nunes Marcos Roberto da Costa

# Capa e Editoração Eletrônica

Esther Santos de Morais

# **Fotografia**

Acervo do Incaper e arquivos dos autores

## **GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Governador do Estado do Espírito Santo **José Renato Casagrande** 

# SECRETARIA DA AGRICULTURA, ABASTECIMENTO, AQUICULTURA E PESCA – SEAG

Secretário de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca **Enio Bergoli da Costa** 

# INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER

Diretor-Presidente
Franco Fiorot

Diretor-Técnico

Antonio Elias Souza da Silva

Diretor Administrativo-Financeiro

Cleber Bueno Guerra

# Indexação

Crossref
Diadorim
Latindex
Miguilim
LivRe!

Permitida a reprodução total ou parcial dos textos desde que citada a fonte.

Os artigos publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Incaper.

# **SUMÁRIO**

DITORIAL	5
RTIGOS	
Ciclo do carbono (C) e sistemas agroflorestais na sustentabilidade da produção agrícola: revisão de literatura	6
Aline Marchiori Crespo; Maurício Novaes Souza; Maria Amélia Bonfante da Silva  Citros como alternativa à pastagem degradada para o Sul do Estado do Espírito Santo  Marianna Abdalla Prata Guimarães; Ramon Alexandre Capucho; João Felipe de Brites Senra; Flávio de Lima Alves	20
Levantamento de emissões e mitigação de gases de efeito estufa da pecuária bovina no  Espírito Santo  Mércia Regina Pereira de Figueiredo; Daiani Bernardo Pirovani; Inacio de Barros; Tiago de Oliveira Godinho	30
Índice de impacto ambiental a partir da adoção de técnicas de produção de cafés especiais	43
Importância da melhoria da qualidade do café arábica para a sustentabilidade de propriedades agrícolas	57
Desempenho agronômico e avaliação econômica de composto orgânico que contém borra de café adubação da cultura do milho	71
NTREVISTAS	
Sustentabilidade: a adoção de carbono negativo nos cafezais da Fazenda Três Meninas em Minas Gerais	83
Sequestro de carbono no café	86

# **EDITORIAL**

O impacto das ações humanas sobre o meio ambiente é um desafio enfrentado por cidadãos, entes políticos e empresas. Nesse sentido, temas como sustentabilidade e crédito de carbono norteiam discussões nas esferas pública, privada e no terceiro setor, para não dizer em todos setores da sociedade.

O setor agropecuário, especificamente, é envolvido diretamente nessa discussão, ocupando um papel de destaque, quer seja nas análises dos problemas, quer seja na geração das soluções para o enfrentamento desse desafio.

Ciente da importância do tema, o Estado do Espírito Santo tem discutido e implementado ações efetivas visando o desenvolvimento sustentável, entre as quais o Programa de Desenvolvimento Sustentável da Cafeicultura do Espírito Santo, lançado em maio de 2023.

O Incaper, autarquia vinculada à Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (Seag), como instituição oficial de pesquisa, assistência técnica e extensão rural do Estado do Espírito Santo, está inserido nessa agenda. O Instituto tem um papel fundamental na formulação e execução de políticas públicas que possibilitem ao setor agropecuário alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, parte da chamada "Agenda 2030", que compõe o pacto global assinado durante a Cúpula das Nações Unidas em 2015.

Para contribuir para esse debate e para a implementação de ações efetivas, o órgão entrega esta edição do periódico *Incaper em Revista* totalmente dedicada ao tema sustentabilidade e crédito de carbono. Os artigos apresentados são resultados de estudos desenvolvidos sobre o assunto no Estado do Espírito Santo pela equipe de extensionistas e pesquisadores do Instituto e de outras instituições parceiras.

Neste volume, os temas centrais são associados a discussões sobre sistemas agroflorestais, pecuária, citros e cafeicultura. Assim, temos uma rica revisão de literatura no primeiro artigo intitulado Ciclo do carbono e sistemas agroflorestais na sustentabilidade da produção

agrícola: revisão de literatura. Na sequência, a discussão foca a pecuária, tratando de temas, como pastagens degradadas, com o artigo Citros como alternativa à pastagem degradada para o Sul do Estado do Espírito Santo e o tema urgente e atual da emissão/mitigação de gases de efeito estufa, com o artigo Levantamento de emissões e mitigação de gases de efeito estufa da pecuária bovina no Espírito Santo. Por fim, mas não menos importante, temos três artigos que focam o contexto da cafeicultura, levando o debate para questões relacionadas a técnicas de produção, qualidade do café e uso de subproduto, com os artigos Índice de impacto ambiental a partir da adoção de técnicas de produção de cafés especiais; Importância da melhoria da qualidade do café arábica na sustentabilidade de propriedades agrícolas; e Desempenho agronômico e avaliação econômica de composto orgânico que contém borra de café na adubação da cultura do milho.

Nesta edição, também são apresentadas duas importantes entrevistas sobre o tema central ora abordado. Sobre sustentabilidade, a entrevista será com o engenheiro agrônomo e mestre em Tecnologia Ambiental, Marcelo Urtado, produtor de café da Fazenda Três Meninas, localizada em Minas Gerais – MG. No tema sequestro de carbono, vamos conversar com Marcos Antonio Matos, diretor-geral do Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (Cecafé).

Os autores e toda a equipe do Incaper se colocam à disposição para ampliar os debates com inúmeros seguimentos da sociedade, ao mesmo tempo que desejamos a todos uma excelente leitura!

**Cleber Guerra** 

Diretor Administrativo-Financeiro

Antonio Elias Souza da Silva Diretor-Técnico

Franco Fiorot

Diretor-Presidente

# CICLO DO CARBONO (C) E SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA: REVISÃO DE LITERATURA

Aline Marchiori Crespo<sup>1</sup>; Maurício Novaes Souza<sup>2</sup>; Maria Amélia Bonfante da Silva<sup>3</sup>

**Resumo** – Nas últimas décadas, foram constatadas crescentes emissões de gases que provocam o efeito estufa, entre eles o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), devido especialmente ao emprego de combustíveis fósseis, ao desmatamento e às atividades agropecuárias, alterando o equilíbrio dos ecossistemas de forma acelerada e provocando mudanças climáticas globais. Os sistemas agroflorestais (SAF) apresentam–se como uma excelente alternativa de cultivo sustentável, e as vantagens oferecidas pela sua utilização são inúmeras, como o potencial de sequestro de carbono (C) tanto em sua biomassa, quanto no solo. O objetivo desta revisão de literatura é verificar se ocorreram avanços nas pesquisas em SAF na última década, de modo que seja demonstrado cientificamente o potencial desse sistema quanto ao sequestro de C, colaborando, portanto, para a diminuição do *input* de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Os SAF, em geral, demonstraram alta capacidade de fixação de C, semelhante às matas nativas e maiores que pastagens e sistemas convencionais, sendo que SAF mais complexos, mais antigos e implantados a partir de matas nativas obtiveram melhores resultados. As pesquisas em SAF dos últimos dez anos foram direcionadas não só ao sequestro de CO<sub>2</sub>, mas também de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), outro gás ligado à agricultura e também importante causador de efeito estufa. A realização do manejo do sistema por meio da poda mostrou–se essencial para o aporte de C e nitrogênio (N) para o solo. Para o N foram obtidos os mesmos resultados, que para o C, sendo pelo menos mantido e, na maioria das vezes, aumentando seus níveis nos solos dos SAF estudados.

Palavras-chaves: Efeito estufa. Ciclo do C. Sustentabilidade. Sistemas agroflorestais.

# CARBON CYCLE AND AGROFORESTRY SYSTEMS IN THE SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL PRODUCTION: A LITERATURE REVIEW

**Abstract** – In recent decades, there has been an increase in greenhouse gas emissions, including carbon dioxide  $(CO_2)$ , due in particular to the use of fossil fuels, deforestation, and agricultural activities, which have altered the balance of ecosystems at an accelerated rate and caused global climate change. Agroforestry systems (AFS) are an excellent alternative for sustainable cultivation, and the advantages offered by their use are numerous, such as the potential for carbon (C) sequestration both in their biomass and in the soil. This literature review aims to verify whether there have been any advances in AFS research in the last decade, so that the potential of this system for C sequestration can be scientifically demonstrated, thus helping to reduce  $CO_2$  input into the atmosphere. In general, AFS have shown a high capacity to fix C, similar to native forests and greater than pastures and conventional systems, with more complex, older AFS planted from native forests obtaining better results. Research into AFS over the last ten years has focused not only on sequestering  $CO_2$  but also on nitrous oxide ( $N_2O$ ), another gas linked to agriculture and also an important cause of the greenhouse effect. Managing the system through pruning has proved to be essential for adding C and N to the soil. The same results were obtained for N as for C, with levels in the SAF soils studied at least remaining the same, and most of the time increasing.

**Keywords:** Greenhouse effect. Carbon cycle. Sustainability. Agroforestry systems.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>M.Sc. Agroecologia, Agente de extensão em desenvolvimento rural Incaper, aline.crespo@incaper.es.gov.br

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>D.Sc. Engenharia de água e solo, Professor titular Ifes Campus de Alegre

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> M.Sc. Agroecologia, Professora livre docência, Vitória-ES

# INTRODUÇÃO

Tem sido constatado ao longo dessas últimas décadas crescentes emissões e incremento nas concentrações atmosféricas de gases poluentes, entre eles o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), devido especialmente ao emprego de combustíveis fósseis, ao desmatamento e às atividades agropecuárias, alterando o equilíbrio dos ecossistemas de forma acelerada e provocando mudanças climáticas globais por intermédio do aumento do efeito estufa e o consequente aquecimento global (Martins et al., 2022).

Estima-se que, em geral, o solo contenha aproximadamente 2344 Gt (1 giga tonelada = 1 bilhão de toneladas) de C orgânico, o que significa de três a quatro vezes a quantidade de C existente na atmosfera, em forma de CO<sub>2</sub>. Esse C orgânico está armazenado quase que em sua totalidade na matéria orgânica do solo (MOS), sendo que pequenas mudanças nesse estoque, principalmente causadas por fatores ambientais e antropogênicos, podem resultar em impactos significativos na concentração do CO<sub>2</sub> (Stockmann et al., 2013; Silva et al., 2022).

Os solos sob florestas naturais possuem atributos físicos, químicos e biológicos ideais para o desenvolvimento das plantas e armazenamento de C; no entanto, modificações antrópicas no uso da terra podem alterar esses atributos, interferindo na dinâmica da MOS, a qual pode sofrer um processo de oxidação, liberando CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Rangel; Silva, 2007; Guimarães *et al.*, 2012; Barros, 2013; Souza, 2018).

A importância do conhecimento da MOS, bem como sua relação com o manejo e uso do solo, visa desenvolver estratégias para a utilização sustentável dos solos, a fim de reduzir o impacto das atividades agropecuárias sobre o meio ambiente.

Nesse contexto, práticas sustentáveis de manejo têm recebido grande destaque nos anos recentes, pois se sabe que o teor de matéria orgânica (MO) é influenciado pelo sistema de cultivo empregado ao solo. A incorporação natural de MO no solo, proveniente de resíduos gerados no próprio empreendimento, e o não revolvimento do solo incrementam o conteúdo de C no solo, auxiliam na retenção de umidade, dificultam o processo de erosão, fornecem macro e micronutrientes às plantas e diminuem

o input de  $CO_2$  na atmosfera (Loss et al., 2011; Matias et al., 2012; Dores–Silva et al., 2013).

Segundo Veiga (2009), o desenvolvimento sustentável é aquele que garante a manutenção em longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola; o mínimo de impactos adversos aos produtores; o retorno econômico adequado aos produtores; a otimização da produção com o mínimo de insumos externos, reduzindo os riscos de poluição e aumentando a entropia no sistema; a satisfação das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais; e a satisfação das necessidades humanas de alimentos e renda.

Os SAF, portanto, apresentam-se como uma excelente alternativa de cultivo sustentável, pois além de imitar padrões ecológicos naturais, permitem também otimizar a produção por unidade de superfície, respeitando sempre o princípio de rendimento contínuo, principalmente por meio da manutenção e recirculação do potencial produtivo dos recursos naturais renováveis (Martins et al., 2022).

Seu desenho na propriedade combina o cultivo de espécies florestais, nativas ou exóticas, com espécies agrícolas e/ou criação de animais numa mesma área. Como exemplo, pode-se citar a utilização de palmeiras (açaí, bacaba, pupunha, babaçu e dendê), café (conilon e arábica), castanha-do-brasil, várias frutíferas (cupuaçu, acerola, guaraná e banana) e também diferentes espécies arbóreas e arbustivas para exploração madeireira e para uso múltiplo (Siqueira et al., 2022).

As vantagens oferecidas pela utilização dos SAF são inúmeras, como o sequestro de C por intermédio do processo fotossintético auxiliando na diminuição do aquecimento global; redução da intensidade dos fenômenos erosivos, pelo efetivo recobrimento do solo; contribuição no processo de regularização da vazão dos mananciais hídricos; diminuição da pressão sobre os remanescentes da vegetação nativa, influenciando positivamente no microclima; garantia de uma maior estabilidade ecológica das áreas de regeneração natural, área de preservação permanente (APP) e área de reserva legal (ARL). Como consequência, há aumento da biodiversidade, estimulando os mecanismos de controle biológico; fornecimento de abrigo, refúgio e alimento para a fauna silvestre; contribuição ao processo

global de aprimoramento científico e tecnológico, pela geração de novas técnicas na parte agroflorestal do empreendimento; melhor aproveitamento do solo em nutrientes e em luminosidade, aumentando a capacidade produtiva do sítio e a ciclagem de nutrientes eficientes para a recuperação de áreas degradadas (Souza, 2018).

Todavia, também existem fatores limitantes nesse sistema que devem ser considerados e manejados. Pode ocorrer competição entre as árvores e/ou culturas por luz, nutrientes e água; também há possibilidade de efeitos negativos das espécies introduzidas sobre aquelas de maior interesse (alelopatia); e, caso não seja feito um manejo eficiente, pode ocorrer uma excessiva exportação de nutrientes pelas colheitas agrícolas ou florestais (Siqueira et al., 2022).

# **OBJETIVO**

O objetivo desta revisão é verificar se ocorreram avanços nas pesquisas em SAF na última década, de modo que seja demonstrado cientificamente o potencial desse sistema no que se refere ao armazenamento e ao sequestro de C, tanto no solo, quanto em sua biomassa, de forma que haja diminuição do *input* de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre.

# **MATERIAIS E MÉTODOS**

Foi utilizado o método de pesquisa qualitativo exploratório por intermédio de buscas de textos científicos no site "Google acadêmico", de forma que a caixa de pesquisa "período específico" foi preenchida de dois em dois anos, a fim de encontrar trabalhos publicados a partir de 2012 até de 2022, buscando selecionar de quatro a cinco publicações relacionadas aos temas SAF e sequestro de C. Do total de resultados retornados, o limite de pesquisa até a página cinco foi suficiente para se chegar ao objetivo proposto, uma vez que após essa página os trabalhos mostrados tendiam a estar repetidos. As palavras-chaves utilizadas para todas as pesquisas foram "Sistema Agroflorestal" e "Sequestro de C". No período de 2012 a 2013, a pesquisa retornou 525 resultados; de 2014 a 2015, foram 538; de 2016 a 2017, foram 533; de 2018 a 2019, foram 612; e, finalmente, de 2020 a 2021 e parte de 2022, foram retornados 619 resultados.

# **REVISÃO DE LITERATURA**

A implantação de SAF tem potencial de sequestro de C e N. A sua biomassa pode prestar o serviço ambiental do sequestro de C, enquanto no solo podem ser sequestrados C e também N. Além disso, os SAF servem de fonte de renda sustentável para os agricultores familiares (Cardoso et al., 2015; Mendonça et al., 2018).

Embora o total de C armazenado no solo seja proporcionalmente muito maior que o encontrado na biomassa aérea e de raízes, a quantidade de C de árvores é sempre muito maior que a encontrada em culturas agrícolas, evidenciando que a implantação de SAF contribui muito para o aumento da armazenagem de C. No entanto, a quantificação do C da biomassa está sujeita a diferentes critérios e metodologias, bem como ao estágio de desenvolvimento dos sistemas. No caso dos SAF, essa quantificação depende da idade, da espécie, do espaçamento de plantio e do regime de manejo adotado (Cardoso *et al.*, 2015).

Entre os trabalhos revisados, foi encontrado um panorama geral de cinco diferentes temas dentro dos quais as pesquisas em SAF estão distribuídas: Determinação do estoque de C no solo; Determinação do estoque de C na biomassa; Determinação do estoque de C no solo e na biomassa; Determinação de C e N no solo; e Efluxo de GEE do solo e da biomassa.

# DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE C NO SOLO

Cogo et al. (2012) realizaram estudo com o objetivo de avaliar a densidade do solo (Ds) e os teores e estoques de C orgânico no solo em cafeeiros nos sistemas de manejo convencional e agroflorestal, e em uma mata nativa, no Sul de Minas Gerais, Município de Machado.

A lavoura de café em sistema agroflorestal foi implantada em 1985, com a variedade Mundo Novo, no espaçamento de 3,5 m x 1 m e, em 1998, foi adotado o modelo de produção natural orgânico em sistema agroflorestal consorciado com frutíferas e árvores nativas. Bananeiras e eucaliptos cultivados ao redor dos talhões de café servem como quebra-vento. As árvores nativas,

frutíferas e plantas anuais se apresentam espalhadas irregularmente entre as linhas dos cafeeiros. Desde 1997, a fertilização do solo e a nutrição do cafeeiro são resultantes da aplicação dos resíduos orgânicos e vegetais, tais como palha de café e a serapilheira originada do próprio sistema.

Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas, nas posições de projeção da copa e entrelinha dos cafeeiros e de forma aleatória na mata nativa, na profundidade de 0–20 cm. O resultado obtido demonstrou que o cafeeiro manejado sob sistema agroflorestal apresentou maior teor de C orgânico no solo na projeção da copa e maior estoque de C orgânico no solo quando comparado ao sistema de manejo convencional, o que pode ser explicado pelo fato de que o manejo agroflorestal produz maior quantidade de resíduos orgânicos oriundos das árvores e do próprio sistema em si.

Stöcker *et al.* (2018) avaliaram os estoques de C no solo, bem como as Ds em um Argissolo conduzido sob SAF agroecológico, mata nativa e pomar de *Campomanesia xanthocarpa*, localizados na Embrapa, Pelotas–RS.

O SAF estava implantado há três anos e possuía nove linhas equidistantes, com 5 m de espaçamento, sendo cinco linhas formadas com pecaneiras (nogueira—pecã), espécies arbóreas produtoras de biomassa (Trema micranta e Enterolobium contortisiliquun) e de interesse madeireiro (Hovenia dulcis; Peltophorum dubium; Cedrella fissilis; Citharexylum montevidense; Hexachlamy sedulis) de forma que, no intervalo de 10 m entre as pecaneiras foram implantadas tangerineiras e caquizeiros, intercalados a cada 5 m. As outras quatro linhas foram intercaladas com as descritas acima, sendo formadas por laranjeiras na posição das pecaneiras, formando—se intervalos de 10 m.

No intervalo entre as laranjeiras, foram plantados caquizeiros e tangerineiras, alternadamente, ao longo da linha. No centro das entrelinhas, foram implantadas duas espécies perenes (*Tithonia diversifolia* e *Penisetun purpureun*) com o propósito de produção de biomassa para restauração da fertilidade natural do solo. A área restante das entrelinhas tem sido cultivada com espécies de interesse econômico (milho, feijão, amendoim e abóboras), adubos verdes de verão e adubos verdes de inverno, de acordo com a estação. Nesses três anos,

toda a biomassa tem sido movimentada para as linhas das árvores.

Para a realização do experimento, amostras de solo foram coletadas nas linhas e entrelinhas dos três diferentes tratamentos, sendo que os estoques de C no solo foram calculados considerando a densidade do solo, o teor de C e a espessura de cada camada amostrada.

Os resultados observados mostraram que o SAF acumulou quantidades de C semelhantes ao solo sob vegetação natural até 0,2 m, o que contribuiu significativamente para a fixação de C e redução da densidade do solo na entrelinha, favorecendo, assim, a sustentabilidade ambiental.

Linhares et al. (2021) reforçam em seu trabalho que o SAF é estratégico na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> causadas pela mudança no uso e cobertura da terra. Nesse contexto, os autores realizaram estudo que teve por finalidade quantificar os estoques de C orgânico do solo em diferentes classes e profundidades de solo em floresta primária e SAF na colônia agrícola do ramal do 12, Município de Lábrea-AM. Para isso, foram usados quatro métodos: elaboração de mapa temático e imagem digital; amostragem; análise físico-química; e estatística de solo.

Os resultados da pesquisa mostraram que os teores de C orgânico usados na quantificação dos estoques de C no solo, em diferentes usos e coberturas da terra, classes e profundidades de solo, indicaram que os Argissolos Vermelhos sob SAF, implantados há mais de dez anos, apresentaram elevada capacidade para estocar C orgânico, semelhante aos Argissolos Vermelho-Amarelos sob floresta primária. Ou seja, expressa com muita clareza a capacidade que os SAF têm de promover a recuperação em médio e longo prazo da qualidade do solo, assim como de estocar C, fortalecendo, dessa maneira, a hipótese de que os SAF são tecnologias de produção agrícola com potencial para mitigar as emissões de CO<sub>2</sub> e, ao mesmo tempo, produzir alimentos e matéria-prima de origem vegetal de forma sustentável.

Iwata et al. (2021) avaliaram a variação dos teores de C orgânico total e particulado, estratificação vertical do C e índice de sensibilidade das frações da matéria orgânica em solos com resíduos orgânicos dispostos em alamedas em

SAF com e sem uso de fogo, em bioma Caatinga, Município de Bela Cruz-CE.

O SAF foi implantado em 2007, em uma área de aproximadamente um hectare, após o corte seletivo da vegetação arbustivo-arbórea, preservando duzentas árvores nativas por hectare. A área foi dividida em duas parcelas de 0,5 ha, uma submetida a fogo controlado e a outra mantida com restos de podas agrupados linearmente em pilhas de largura de 0,5 m, perpendiculares ao declive da área e espaçadas de 3 m.

Foi utilizado um modelo de cultivo em aleia, que consistiu em duas fileiras de *Gliricidia sepium* (Jacq.) com espaçamento de 0,5 m entre as linhas e 0,5 m entre as plantas. Essa leguminosa *sepium* foi utilizada como adubo verde, cajueiros (*Anacardium occidental* L.) como cultura permanente e milho (*Zea mays* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) como culturas anuais.

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, em que o fator fogo esteve presente nas parcelas e o fator resíduos orgânicos nas subparcelas. Os resíduos orgânicos utilizados consistiram em plantas de *Gliricidia sepium*; *G. sepium* e resíduo do processamento de carnaúba; *G. sepium* e bio-composto; e *G. sepium*, resíduo de processamento de carnaúba e biocomposto, que foram avaliados em três camadas de solo.

Como resultados, os autores constataram que as vielas com resíduo do processamento de carnaúba, plantas de *G. sepium* e biocomposto apresentaram melhor manutenção dos teores de C orgânico particulado e mineral associado.

Dessa maneira, pode-se inferir que o manejo agroflorestal em vielas utilizando esses três resíduos foi eficiente para a manutenção de compartimentos de matéria orgânica lábil e recalcitrante. Todavia, o C orgânico particulado foi mais sensível às mudanças no manejo do solo do que o conteúdo de matéria orgânica total, em todas as alamedas, apresentando maiores índices de sensibilidade.

Rufino et al. (2022), com objetivo de quantificar o estoque de C do solo em diferentes profundidades, sob diferentes agroecossistemas e área de vegetação secundária, desenvolveram uma pesquisa no Município de Remígio-PB. Para tal, foram selecionadas quatro

áreas, caracterizadas de acordo com o sistema de cultivo em: sistema convencional, pastagem, SAF e área com vegetação secundária.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial [(3x3)+1], contendo os seguintes fatores: sistema de cultivo (convencional, pastagem sistema agroflorestal), profundidade (0-20; 20-40 e 40-60 cm) e um tratamento adicional correspondente à vegetação secundária. O SAF já estava estabelecido há cerca de dez anos e era composto por espécies agrícolas anuais, frutíferas e arbóreas como Citrus sinensis L. Osbeck (laranja), Mangifera indica (manga), Artocarpus heterophyllus (jaca), Persea americana (abacate), Musa (banana). As práticas de manejo adotadas foram poda, adubação verde, capinas, roços manuais e adubação com esterco bovino.

Como resultados, os autores da pesquisa evidenciaram que o estoque de C total no solo é maior no SAF, porém diminui na pastagem, com concentração ainda inferior no cultivo convencional. Também comprovaram que os teores de C variam conforme a profundidade e as amostras de solo coletadas na superfície (0–20 cm), havendo aumento no estoque em profundidades de 20 cm a 40 cm e de 40 cm a 60 cm, devido ao incremento de matéria orgânica nessa camada, o que independe do ambiente estudado.

# DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE C NA BIOMASSA

Silva (2014), a fim de estimar o estoque de biomassa aérea, C fixado e o sequestro de  $\mathrm{CO}_2$  em diferentes SAF na Amazônia mato-grossense, bem como a estrutura diamétrica de tais ambientes, selecionou três ambientes florestais distintos: reflorestamento; sistema agroflorestal; e fragmento florestal primário.

O SAF possuía uma área de 30 m x 80 m com 15 anos de implantação. A cultura principal era o cacau (*Theobroma cacau* L.) no espaçamento 3 m x 4 m, sendo consorciada com outras espécies florestais distribuídas aleatoriamente.

A biomassa total aérea de cada ambiente foi estimada para a quantificação do estoque de C e estimativa do sequestro de CO<sub>2</sub>. Observou-se então que o fragmento florestal apresentou os maiores valores de biomassa aérea, C e sequestro de CO<sub>2</sub>, seguido do sistema agroflo-

restal e do reflorestamento. Tais variabilidades encontradas nos resultados podem ser atribuídas à morfologia e fisiologia de seus componentes vegetais, mas de forma geral todos os ambientes se mostraram importantes na retenção do C contribuindo, dessa maneira, para a fixação de CO, nos ecossistemas florestais.

Oliveira (2013) teve por objetivo, em sua pesquisa, conhecer a biomassa do componente arbóreo de um sistema agroflorestal de cultivo do cupuaçu na Zona da Mata Rondoniense, instalado a cerca de 25 anos em uma área anteriormente destinada ao cultivo de café. Para isso, foi estimada a biomassa e a quantidade de C presente no componente arbóreo e de palmeiras pelo método indireto.

Como resultados, o sistema apresentou o acúmulo de 90,13 Mg C. ha<sup>-1</sup>, demostrando uma alta capacidade de produção de biomassa. Porém, como o sistema não é manejado com podas periódicas, cerca de 90% dessa biomassa está contida no estrato superior, evidenciando ser necessário realizar o manejo das árvores, com poda ou raleamento de indivíduos para que a biomassa fixada possa tanto ser parcialmente estocada no solo quanto aumentar a biomassa acumulada no estrato inferior.

Torres (2015), entre outros estudos, descreve em sua tese a avaliação da contribuição de dois SAF na redução da concentração de GEE na atmosfera. Trata-se de um sistema agrossilvipastoril e outro silvipastoril, os quais foram implantados em dezembro de 2008 em Viçosa-MG, sendo que o primeiro sistema é composto por Eucalipto + Feijão + Braquiária e o segundo somente por Eucalipto + Braquiária.

O componente florestal foi plantado no espaçamento de 8 m entre as linhas e 3 m entre as plantas. Nas unidades, empregou-se o método indireto para quantificação da biomassa do componente florestal. Para a pastagem, a biomassa foi estimada pelo método direto.

As emissões de GEE foram oriundas das atividades agrícolas (adubação nitrogenada) e pecuária (fermentação entérica e manejo de dejetos), e foram estimadas com base nas Diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa.

O sistema agrossilvipastoril apresentou maior remoção (49,99 Mg CO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>) em relação ao sistema silvipastoril

(42 Mg CO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>). O componente bovino foi o que apresentou maior emissão de GEE (3,49 Mg CO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>), quando comparado ao eucalipto, ao feijão e à braquiária.

Os sistemas apresentaram um excedente de árvores quando se pensa em neutralização: seriam necessárias, em média, 50 árvores.ha<sup>-1</sup> e havia em torno de 351 árvores.ha<sup>-1</sup>.

Dessa forma, concluiu-se que os SAF contribuem para mitigação dos gases de efeito estufa na atmosfera, desempenhando um importante papel para o alcance das metas de redução de emissões de GEE estabelecidas pelo governo brasileiro. Além disso, permitem o desenvolvimento da agropecuária mais sustentável no país.

A quantificação do estoque de C na parte aérea de arbustos e árvores em SAF biodiversos foi o objetivo da pesquisa de Padovan *et al.* (2017), a qual foi conduzida em Amambai–MS, num ecótono de transição entre Cerrado e Mata Atlântica.

Foram avaliados quatro SAF biodiversos, com diferentes desenhos, arranjos e idades de implantação, os quais são compostos por espécies vegetais de usos múltiplos (exóticas e nativas) e, conforme a predominância da espécie, tem-se: SAF Bananal, implantado em 2008; SAF Pomar e SAF Erval, implantados em 1996; e SAF Macaubal, implantado em 1997, bem como uma testemunha representada pela vegetação nativa (MT), adjacente aos SAF.

Para estimar o estoque de C, foi medida a circunferência de arbustos e árvores à altura do peito (1,3 m de altura), e estimada a sua altura total (Ht). Esses dados foram utilizados para os cálculos adotando-se equação alométrica.

A conclusão do trabalho foi que o estoque de C nos SAF e na área de vegetação nativa adjacente foram semelhantes, e as espécies arbóreas com maior potencial de estocar C na biomassa aérea, e que inclusive podem ser recomendadas para a instalação de novos SAF, nas mesmas condições ambientais desse trabalho, foram: Enterolobium contortisiliquum, Ceiba speciosa, Cecropia pachystachya, Peltophorum dubium e Acrocomia aculeata.

Brachtvogel *et al.* (2018) buscaram quantificar o estoque de C na biomassa vegetal em quatro arranjos de SAF, de dois anos de idade, implantados no Município de Ivinhema–MS. O primeiro arranjo possui três linhas de arbóreas com distanciamento de 10 m entre as linhas.

tendo, nesse espaço, duas linhas de café arábica 'IAPAR 49', com uma linha de bananeira no centro. O segundo arranjo é composto por três linhas de café intercaladas com linhas de arbóreas, sendo que as bananeiras são cultivadas entre espécies arbóreas. O terceiro arranjo é composto por mandioca entre espécies arbóreas, e abacaxi, pimenta-cumari e mamão nas entrelinhas. No quarto arranjo a banana é cultivada entre arbóreas e, nos espaços de 2,5 m entre as linhas, foram implantadas linhas de pimenta-cumari, mandioca e mamão.

Foram estabelecidas parcelas em cada arranjo, que correspondem às linhas das espécies arbóreas. Na avaliação, obteve-se o diâmetro na altura do solo e a altura de todos os indivíduos.

Para obter os valores de C na biomassa, aplicou-se a equação alométrica proposta por Higuchi *et al.* (1998), obtendo-se o valor do peso fresco em kg árvore<sup>-1</sup>. Após a utilização da equação, adotou-se o fator de conversão para estimar o valor de C. Os resultados mostraram que, de acordo com o levantamento florístico, foram inventariados 393 indivíduos, distribuídos em 16 famílias, pertencentes a 38 espécies.

O C estocado nos arranjos 2 e 4 foram superiores aos demais, devido, segundo os autores, às espécies e densidades das árvores presentes na área, o que evidencia que a adoção de determinados arranjos de SAF pelos agricultores contribuirá para uma maior estocagem de C na biomassa das plantas, reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. No total, os quatro arranjos juntos apresentaram um estoque considerável de C estocado (2,11 toneladas), levando em conta tratar-se de SAF novos, implantados há apenas dois anos.

Arancibia *et al.* (2020) avaliaram em sua pesquisa o papel ecológico de um SAF sucessional em sua capacidade de sequestrar C na região Sudoeste paranaense, Município de Dois Vizinhos.

Considerando-se a estratificação vertical de uma floresta natural como ponto de partida para elaboração do módulo (croqui), o SAF foi implantado onde antigamente havia cultivo de rami (*Boehmeria nivea*), consistindo em oito linhas com 4 m de distância entre elas, contendo uma espécie madeireira protagonista, quatro frutíferas, quatro espécies madeireiras, culturas agrícolas anuais, adubos

verdes e olerícolas. Essa disposição foi repetida seis vezes até ocupar toda a área disponível.

A avaliação foi realizada por censo nos tempos 0, 4, 5 e 8 anos após a implantação. A medição utilizada para a avaliação de rendimento de madeira foi realizada pela circunferência de colo (C30), com auxílio de fita métrica topográfica, separadamente para grupo de espécies dentro da classificação sucessional: pioneiras, secundárias iniciais e tardias e espécies clímax.

Os resultados demonstram maiores rendimentos em relação à circunferência de colo em espécies sucessionais secundárias iniciais em relação às outras classes avaliadas no SAF. Evidenciam que para que se tenha um maior incremento de sequestro de C em SAF com características semelhantes, as espécies secundárias iniciais devem ser priorizadas, devido a sua melhor adaptação às condições edafoclimáticas promovidas pela região e alteradas, em escala local, pelo próprio desenvolvimento do SAF.

Esses mesmos autores, utilizando o mesmo SAF, no mesmo município, também realizaram outra pesquisa, em 2021, dessa vez com objetivo de quantificarem o C estocado acima do solo pelo componente arbóreo do SAF, com oito anos de idade, identificando as espécies e os grupos ecológicos que se destacam para estocar esse C.

O censo levantou a presença de 7.350 indivíduos.ha⁻¹ no SAF com altura total ≥ 1,30 m, divididos em 49 espécies e pertencentes a 26 famílias botânicas, os quais foram objeto de análise fitossociológica, com destaque à Musa paradisiaca L. com 4.956 exemplares. Primeiro foi calculada a biomassa seca do fuste de cada indivíduo. Depois aplicaram-se equações alométricas específicas para Mimosa scabrella Bentham., Euterpe edulis Mart., Schinus terebinthifolius Raddi., Araucaria anfustifolia (Bertol.) Kuntzee, Musa paradisiaca L; e equações alométricas genéricas regionais e pantropicais para todo o conjunto de dados, comparando-os com o valor de biomassa seca do fuste encontrado, os quais foram convertidos em C estocado.

As espécies que se sobressaíram foram Solanum mauritianum Scop. (2,6 Mg C ha<sup>-1</sup>), Persea americana Mill. (1,96 Mg C ha<sup>-1</sup>), Musa paradisiaca L. (1,31 Mg C ha<sup>-1</sup>) e Carya illinoinensis (Wang.) K. (1,11 Mg C ha<sup>-1</sup>).

Do total de 15,35 Mg C ha<sup>-1</sup> estocados no SAF, o grupo de sucessão ecológica das espécies pioneiras foi responsável por 7,44 Mg C ha<sup>-1</sup>, seguido pelo grupo das secundárias iniciais com 4,17 Mg C ha<sup>-1</sup> e pelo grupo das secundárias tardias com 3,15 Mg C ha<sup>-1</sup>. O grupo das climácicas foi responsável por estocar apenas 0,39 Mg C ha<sup>-1</sup>.

Das equações alométricas utilizadas nesse trabalho, as genéricas regionais de Vismara (2013) e Gusson (2014) e as pantropicais de Chave *et al.* (2005; 2014), foram as que apresentaram resultados mais condizentes com o valor da biomassa seca do fuste, sendo recomendadas para estimativas em SAF com desenhos semelhantes ao desse estudo (Arancibia, 2021).

# DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE C NO SOLO E NA BIOMASSA (C TOTAL)

Oliveira (2013) discorre em sua dissertação que no Município de Araponga – Zona da Mata de Minas Gerais, SAF de café (*Coffea arabica*) com plantas nativas foram implantados há 20 anos, em caráter de experimentação participativa, com objetivo de reverter a degradação observada nos agroecossistemas. Seu estudo objetivou aprofundar essas pesquisas tanto no que diz respeito ao desenho e função das espécies encontradas nos SAF quanto ao potencial de estoque de C desses agroecossistemas.

No que se refere ao sequestro de C, o estoque de C total calculado somente para a biomassa aérea, arbórea e arbustiva dos SAF foi de 25,5 Mg.ha-¹. Já o estoque de C total, considerando também outros compartimentos do sistema (vegetação espontânea, serapilheira, raízes e solo), foi de 74,55 Mg.ha-¹.

Dessa maneira, a autora concluiu que os SAF muitas vezes podem apresentar o potencial de sequestro e estoque de C em sua biomassa arbórea semelhante, ou até superior, ao de vegetações naturais em estágios iniciais de regeneração, como as capoeiras (estoque de C de aproximadamente 18,6 t.ha-¹). Portanto, pode-se afirmar que os SAF podem efetivamente contribuir para mitigar os efeitos de mudança climática devido às emissões de CO<sub>2</sub>, além de também contribuir para o fortalecimento da agricultura familiar.

Silva (2013) investigou a dinâmica de C e quantificou a biomassa epígea em um SAF localizado em área de Cerrado do Brasil Central.

Foram realizadas medidas de  $\delta^{13}$ C e concentração de C foliar, serapilheira e do solo (0–20 cm de profundidade), estimou–se o estoque de C no solo e quantificou–se a biomassa epígea através do uso de equações alométricas específicas para verificação do C armazenado na estrutura da vegetação do SAF.

Através dos resultados, concluiu-se que a maior quantidade de C armazenada no SAF se encontra na biomassa epígea, quando comparado a sistemas tradicionais de uso da terra e áreas nativas de cerrado, enquanto o solo superficial desse SAF não apresentou maiores quantidades de C quando comparados a sistemas tradicionais de uso da terra, assim como de áreas de cerrado nativo.

Muchavisoy (2013), objetivando quantificar e comparar os estoques de C em diferentes usos do solo na Amazônia Oriental, estimou o C total (biomassa viva e morta acima do solo e C do solo) em formações vegetais de floresta ombrófila densa, floresta de restinga, sistemas agroflorestais multiestratificados complexos, comerciais, quintais, capoeiras e pastagens.

O C total em florestas ombrófilas (164 Mg ha<sup>-1</sup>) e sistemas agroflorestais complexos (161,6 Mg ha<sup>-1</sup>) foi significativamente maior em comparação com capoeiras enriquecidas (71,6 Mg ha<sup>-1</sup>) e áreas de pastagens (43,9 Mg ha<sup>-1</sup>). Já florestas de restinga, sistemas agroflorestais e capoeiras em estágios avançados de desenvolvimento tiveram estoques intermediários.

Árvores de grande porte (> 50 cm DAP) estocaram quantidades significativas de C da vegetação, sendo que em sistemas agroflorestais comerciais maduros estocaram 83 Mg ha<sup>-1</sup> (89%), em sistemas agroflorestais complexos 78 Mg ha<sup>-1</sup> (63%) e em florestas ombrófilas 47 Mg ha<sup>-1</sup> (39%).

Estoques de C do solo em pastagens se mostraram significativamente menores em comparação com todos os outros usos do solo avaliados. Portanto, os SAF apresentam alto potencial de armazenamento de C, enquanto que a substituição de florestas por áreas de pastagens implica perdas drásticas em todos os componentes do estoque de C total.

Rocha et al. (2014) caracterizaram três SAF e suas respectivas vegetações nativas adjacentes, no Município de Grão Mogol-MG (Bioma Cerrado), quanto ao número, classificação botânica, distribuição diamétrica e estratificação vertical dos indivíduos arbóreos; e estimaram os estoques de C na fitomassa aérea, na serapilheira e no solo.

Dois dos SAF foram implantados em 2003, sendo que foram preservadas as espécies vegetais estratégicas, tais como melíferas, madeireiras, frutíferas e medicinais, e introduzidas novas espécies de acordo com as características edafoclimáticas da região e interesse dos agricultores. Já o terceiro SAF foi implantado também em 2003, mas no início dos anos da década de 1980, essa área foi drenada e a sua vegetação nativa suprimida para o cultivo.

Essa atividade ocorreu até o início da década de 1990, quando a área foi abandonada. Em 2003, quando o SAF foi implantado, a espécie nativa predominante era o araçá (*Psidium firmum* O Berg.), que foi mantida em função do interesse comercial de seus frutos. Outras espécies foram introduzidas e selecionadas em razão da tolerância à luminosidade e pela fertilidade natural do terreno. Nos três SAF estudados, o manejo das espécies arbóreas era realizado por meio de podas a fim de aumentar a disponibilidade de luz no sistema e incorporar matéria orgânica ao solo.

Os dois primeiros SAF, implantados a partir do manejo da vegetação nativa, apresentaram uma biodiversidade vegetal e estoque de C na fitomassa, na serapilheira e no solo semelhantes à área de vegetação nativa adjacente. Por outro lado, os estoques de C do terceiro SAF, implantado em área anteriormente cultivada com culturas anuais, apresentou menor diversidade de espécies arbóreas e menores estoques de C na fitomassa, serapilheira e no solo, em relação à vegetação nativa adjacente.

Dessa forma, concluiu-se que SAF bem manejados se assemelham à vegetação nativa em estoque de C e conservação da biodiversidade dos recursos naturais.

# DETERMINAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO

Os autores Sacramento *et al.* (2013) conduziram pesquisa com finalidade de avaliar as alterações

promovidas nos estoques de C e N do solo por sistemas agrícolas agroflorestais (agrossilvipastoril e silvipastoril) e tradicional (com derrubada da vegetação, queima e cultivo por período de dois a três anos), confrontando-os à vegetação natural da Caatinga, após 13 anos, em experimento instalado em um Luvissolo Crômico órtico típico, no Município de Sobral-CE.

Para tal, amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0–6, 6–12, 12–20, 20–40 e 40–60 cm, em quatro repetições, considerando os relevos plano, convexo e côncavo em cada situação de estudo, sendo determinados o C orgânico total, o N total e as densidades do solo.

Entre os sistemas agroflorestais estudados, o silvipastoril, em longo prazo, promoveu as maiores reduções nos estoques de C e N, enquanto o agrossilvipastoril as menores perdas, representando alternativa sustentável para o sequestro de C e N do solo nas condições semiáridas relativas a esse estudo. Por outro lado, o sistema de cultivo tradicional apresentou reduções de 58,87 e 9,57 Mg ha-1 dos estoques de C orgânico e N total, respectivamente, indicando sua não adequação para as condições semiáridas brasileiras.

Matos *et al.* (2016) obtiveram uma conclusão importante em seu trabalho, pois ao avaliarem um SAF com três anos de implantação, observaram que os estoques de C e N no solo ao invés de aumentarem como na maioria dos trabalhos aqui apresentados, diminuíram, apresentando valores de 93,1 e 5,5 Mg ha<sup>-1</sup>, o que representou uma perda de 12,7 (12%) e 1,5 (21%) Mg ha<sup>-1</sup> de C e N do solo, respectivamente.

Os autores então explicam que o revolvimento do solo nas linhas de plantio promovidas pelo sulcador florestal, assim como o baixo aporte de resíduos na fase inicial de desenvolvimento das espécies vegetais podem ter contribuído para a redução dos estoques de C e N no solo nos primeiros anos de implantação do SAF. Acrescentam que, avaliando o efeito de diferentes sistemas agroflorestais em solo tropical, Lal (1989) também observou reduções nos conteúdos de C e N do solo nos primeiros cinco anos de implantação.

Sendo assim, é importante ressaltar que as taxas de acúmulo ou perda de C e N no solo em sistemas

agroflorestais variam de acordo com o tipo de solo, clima, manejo e preparo do solo e espécies vegetais cultivadas. Em outras palavras, o impacto de um SAF no sequestro de C no solo é dependente da quantidade e qualidade dos resíduos aportados pelos componentes do sistema e das propriedades do solo, principalmente, de sua estrutura e agregação (Nair, P.; Kumar; Nair, V., 2009).

Couto *et al.* (2017) avaliaram alterações nos teores de C e N e a abundância natural de  $\delta^{13}$ C e  $\delta^{15}$ N de um Cambissolo Háplico Tb distrófico em uma área com SAF e em outra área de mata nativa adjacente, ambas integrantes do Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado (Reca), localizado no distrito de Nova Califórnia–RO.

O SAF é composto das espécies vegetais, cupuaçu, pupunha e castanheira, tem eventualmente outras espécies, classificadas como essências florestais, e foi implantado com espaçamento de 7 m x 4 m, entre 1989 e 1992.

Em cada área de estudo, foram coletadas amostras de solo em oito profundidades de 0 m a 1 m. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas 2 x 8 (2 áreas florestais e 8 profundidades), com três repetições.

Como resultados, os autores descrevem que, com exceção da camada superficial do solo (0 – 0,1), a área de SAF está preservando mais os teores de C e aumentando os teores de N (0,2 – 1) em relação à mata nativa. Porém, ambas as áreas avaliadas apresentaram sinais de abundância natural de  $\delta^{13}$ C referente a plantas do ciclo fotossintético C3, e a área de mata nativa apresentou nas camadas superficiais (0 – 0,20) maiores valores de  $\delta^{15}$ N, demonstrando maior atividade de decomposição da matéria orgânica.

Mendonça et al. (2018) desenvolveram pesquisa no Município de Cachoeiro de Itapemirim-ES com objetivo de avaliar os estoques de C e N em diferentes profundidades e ao longo de um ano em SAF de três anos de idade com três sistemas de manejo: café conilon em monocultivo (testemunha); café conilon com pupunha e café conilon com banana. Uma área de mata nativa, Bioma Mata Atlântica, adjacente ao local do trabalho, também foi avaliada para comparação quanto ao estoque de C e N em ambiente natural.

Foram realizadas quatro coletas de solo na linha de plantio para a caracterização dos estoques C e N durante o ano, sendo na profundidade de 0–10 cm nos meses de março, junho, setembro e dezembro de 2016, e uma coleta no mês de setembro desse mesmo ano nas profundidades de 0–20, 20–40, 40–60 e 60–80 cm. Também foi determinada a densidade do solo pelo método do anel volumétrico. Para cada coleta, foram realizadas quatro amostragens ou repetições, sendo feitas na área central das linhas 3, 7, 11 e 13 de cada sistema de manejo, e na área da mata nativa de forma aleatória.

O C orgânico total e o N total foram determinados segundo metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005). Destaca-se que os resíduos de todo o material podado das plantas são distribuídos sobre a linha de plantio.

Os resultados mostraram que os maiores estoques de C e N na camada de 0–20 cm está relacionado ao aporte orgânico da parte aérea e de raízes nessa camada. Já a maior variação anual dos estoques de C e N nos SAF está relacionada ao aporte de resíduos vegetais das podas das espécies do consórcio, mas em média os valores anuais não diferem entre os sistemas. Todavia, os SAF podem proporcionar maior ciclagem de nutrientes na camada superficial do solo. Esse resultado é importante para o agricultor familiar agroecológico, cujos sistemas agrícolas são de baixo aporte externo à área de cultivo.

Ribeiro et al. (2019) também pesquisaram no sentido de avaliar a fertilidade e os estoques de C e N do solo após dez anos de implantação de SAF no Cerrado mineiro, precisamente no Assentamento Agroextrativista Americana, Município de Grão Mogol-MG.

Foram selecionados três SAF e duas áreas de vegetação nativa adjacentes, utilizadas como referência para o estudo, as quais foram agrupadas em função da classe de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Háplico.

A amostragem do solo foi realizada retirando amostras compostas das camadas 0–5 e 0–20 cm de profundidade para avaliação dos teores de nutrientes e densidade aparente, e na primeira camada os estoques de C e N do solo.

Os SAF que foram implantados com manejo baseado em desrama/poda e manutenção da diversidade florís-

tica contribuíram para a melhoria da qualidade do solo e manutenção da fertilidade e estoques de C em níveis semelhantes à vegetação nativa. Já o SAF que foi implantado com a prévia supressão da vegetação nativa reduziu a diversidade arbórea e, consequentemente, os estoques de C ao longo do tempo. Porém, o manejo com culturas anuais e uso de leguminosas contribuiu para a melhoria da fertilidade do solo e incremento dos teores e estoques de N.

## EFLUXO DE GEE DO SOLO E DA BIOMASSA

Lopes (2015) destaca em seu trabalho que no ciclo do C não apenas o sequestro desse elemento do solo, mas também o efluxo de CO<sub>2</sub>, ainda pouco estudado em sistemas agrícolas, precisam ser quantificados. Nesse sentido, o trabalho objetivou quantificar emissões de CO<sub>2</sub> do solo sob cafezais, na Zona da Mata Mineira, em SAF e a pleno sol, e identificar as seguintes variáveis: níveis de sombreamento, características físicas, químicas, biológicas e os fatores ambientais que influenciam o efluxo de CO<sub>2</sub>, no inverno (estação seca na região).

Os resultados mostraram que nessa estação os valores de efluxos de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera são pequenos e não houve diferença entre os efluxos nos sistemas avaliados. As sombras das árvores não influenciaram o efluxo no período avaliado. As variáveis químicas (estoque de C, estoque de N e C lábil), físicas (macroporosidade e porosidade total), juntamente com a umidade do solo controlaram a dinâmica da respiração do solo no inverno. A biomassa microbiana não contribuiu para a respiração do solo no inverno. No entanto, estudos de longo prazo e submetidos à frequência de variabilidade climática interanual são necessários para conclusões mais definitivas. Além disso, sugere-se avaliar a contribuição das raízes e da qualidade da matéria orgânica do solo no efluxo de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Silveira et al. (2016), nessa mesma linha de pesquisa, mas com objetivo de avaliar também os efluxos de outros GEE (metano –  $\mathrm{CH_4}$  e óxido nitroso –  $\mathrm{N_2O}$ ), além do  $\mathrm{CO_2}$  no SAF em relação à mata nativa, utilizaram para as coletas dos gases um sistema de câmaras estáticas que coletam ar atmosférico, com posteriores análises em laboratório por meio da cromatografia gasosa, a fim de determinar as concentrações desses gases em ambos os tratamentos.

O experimento foi conduzido em Sinop-MT, e o SAF é composto de seringueira, açaí, cacau, castanheira, cupuaçu e mogno-africano, todos intercalados com bananeira, dividido em três arranjos. As bananeiras, seringueiras, açaí e castanheiras estão presentes em todos os arranjos. O cacau se encontra apenas nos arranjos 1 e 2. Já o cupuaçu está presente nos arranjos 2 e 3, e o mogno-africano apenas no arranjo 2.

Como resultado, constatou–se que as emissões acumuladas de  $\rm N_2O$  no período de 15 meses foram de 1,9 kg N ha<sup>-1</sup> no SAF e 2,33 kg N ha<sup>-1</sup> na mata e de –1,34 kg C ha<sup>-1</sup> no SAF e 0,5 kg C ha<sup>-1</sup> na mata. Dessa maneira, concluiu–se que o SAF foi mais eficiente em reduzir emissões de  $\rm N_2O$  e CH $_4$  em relação à mata nativa em um curto prazo, mas recomenda–se que sejam feitos outros estudos de longo prazo, principalmente visando entender mais profundamente os processos que regulam essas emissões.

# **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Por meio deste estudo, pode-se constatar um esforço na última década direcionado às pesquisas em SAF em relação ao sequestro de  $\mathrm{CO}_2$  atmosférico e às práticas agrícolas mais sustentáveis. Isso porque o aumento vertiginoso e muito veloz do aquecimento global tem trazido grande preocupação para a sociedade, incluindo o meio científico. Dessa maneira, conclui-se que:

- Os SAF demonstram alta capacidade de fixação de C no solo, semelhante às matas nativas, e maior que pastagens e sistemas convencionais. Quanto maior o tempo de implantação do SAF, melhores são os resultados nesse sentido.
- Os SAF também possuem alta capacidade de produção de biomassa e de fixação de C nela, sendo que espécies pioneiras, secundárias iniciais e algumas outras específicas, e a depender de suas densidades nos arranjos agroflorestais, demonstram maior capacidade de sequestro de CO<sub>2</sub>, do que em outros sistemas, evidenciando a necessidade da escolha correta dos arranjos por parte dos agricultores.
- SAF manejados a partir de matas nativas demonstram melhores resultados em relação à diversidade de espécies e sequestro de C, tanto no solo quanto na biomassa, do

que SAF implantados em outras áreas (áreas degradadas, cultivos anuais anteriores etc.). Realizar o manejo do sistema através da poda também é essencial para o aporte de C e N para o solo.

- O N segue as mesmas premissas expostas para o C, sendo pelo menos mantido, e na maioria das vezes aumentando seus níveis nos solos dos SAF estudados.
- As pesquisas em SAF dos últimos dez anos foram direcionadas não só ao sequestro de CO<sub>2</sub>, mas também de N<sub>2</sub>O, outro gás ligado à agricultura e também importante causador de efeito estufa.

# **CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES**

Aline Marchiori Crespo: escolha do tema e contribuição na revisão de literatura.

Mauricio Novaes Souza: contribuição na revisão de literatura e correção do artigo pronto.

Maria Amélia Bonfante da Silva: contribuição na revisão de literatura.

# **CONFLITO DE INTERESSES**

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## **AGRADECIMENTOS**

À revista "Incaper em Revista" pela oportunidade de ampliação e compartilhamento de conhecimento científico e às instituições envolvidas neste trabalho, as quais vêm fortalecendo suas parcerias ao longo do tempo: Ifes-Campus de Alegre e Incaper.

## REFERÊNCIAS

ARANCIBIA, I. A. L. *et al.* Papel ecológico no sequestro de carbono de um sistema agroflorestal sucessional no Sudoeste do Paraná. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/5306. Acesso em: 26 set. 2022.

ARANCIBIA, I. A. L. Carbono estocado acima do solo por um sistema agroflorestal sucessional na mata atlântica. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: http://riut.utfpr.edu. br/jspui/handle/1/29290. Acesso em: 19 set. 2022

BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Polêmica**, v. 12, n. 2, 2013. Disponível em: https://www.e-publicacoes.uerj.br/index. php/polemica/article/ view/6436/4844. Acesso em: 16 set. 2022.

BRACHTVOGEL, C. *et al*. Sistemas agroflorestais biodiversos: potencial para sequestro de carbono. **Anais do Agroecol**. 2018, v. 13, n. 2, 2018. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1104556/1/Potencial....pdf. Acesso em 20 set. 2022.

CARDOSO, D. J. *et al.* Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais. *In:* PARRON, L. M. et al. (Eds.) **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica.** Brasília, DF, Embrapa Florestas, 2015. p. 84–91. Disponível em: https://www.alice.cnptia. embrapa.br/handle/doc/1024082. Acesso em: 21 set.2022.

CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, p. 87–99, 2005.

CHAVE, J. *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global change biology**, v. 20, n. 10, p. 3177–3190, 2014.

COGO, F. D. et al. Carbono orgânico de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiros em sistemas de manejo agroflorestal e convencional. **Revista Agrogeoambiental**, 2012. Disponível em: https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/ Agrogeoambiental/article/view/446/0. Acesso em: 22 set.2022.

COUTO, W. H. et al. Carbono, Nitrogênio, Abundância Natural de  $\delta^{13}$  C e  $\delta^{15}$  N do Solo sob Sistemas Agroflorestais. **Floresta e ambiente**, v. 24, 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/j/floram/a/WRbDJwYnfq9RGvpJdXvM8Jm/abstract/?lang=pt. Acesso em: 26 set.2022.

DA SILVA LINHARES, J. M. et al. Estoque de carbono orgânico no solo sob floresta primária (FP) e sistemas agroflorestais (SAF) em assentamento rural no sul do amazonas. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 2, p. 497–519, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/4285. Acesso em: 27.set.2022.

DORES-SILVA, P. R. *et al.* Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 640–645, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/8NDC3SbS8jzYqwSpLBDNzDQ/?lang=pt. Acesso em: 24 set. 2022.

GUIMARÃES, D. V. *et al.* Qualidade da Matéria Orgânica do Solo e Estoques de Carbono e Nitrogênio em Fragmento de Mata Atlântica do Município de Neópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 5, 2012. Disponível em: https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/1417. Acesso em: 27.set.2022.

GUSSON, E. Avaliação de métodos para a quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas da Mata Atlântica. 2014. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. HIGUCHI, N. *et al.* Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, p. 153-153, 1998.

IWATA, B.F. et al. Total and particulate contents and vertical stratification of organic carbon in agroforestry system in Caatinga. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 443–451, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rcaat/a/gHhJDQ4wJxwCtZVJYm6g6cB/abstract/?lang=en. Acesso em: 24 set. 2022.

LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: III – Changes in soil chemical properties. **Agroforestry Systems**, v. 8, p.113–132, 1989.

LOPES, V. S. **Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo no inverno em cafezais cultivados nos sistemas agroflorestais e a pleno sol**. 2015. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2015. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8343. Acesso em: 22 set. 2022.

LOSS, A. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **IDESIA**, Chile, v. 29, n. 2, p. 11–19, 2011. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0718-34292011000200002. Acesso em: 24 set.2022.

MARTINS, E. de O. *et al.* Recuperação de áreas degradadas da cafeicultura sob manejo de sistema agroflorestal. *In:* SOUZA, M. N. (org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** v. 3. Canoas, RS, Mérida Publishers, 2022. p. 137–157. Disponível em: http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c4. Acesso em: 17 set. 2022.

MATIAS, S. S. R. et al. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 3, p. 414–420, 2012. Disponível em: https://repositorio.unesp. br/bitstream/handle/11449/73412/2-s2.0-84871578734. pdf;jsessionid=9F077673CEEDE23F6DEB8394737A97B5?sequence=1. Acesso em: 25 set. 2022.

MATOS, E. da S.; Antonio, D. B. A.; RODRIGUES, R. Estoques de carbono e nitrogênio do solo em área de SAF e floresta nativa. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 10., 2016, Cuiabá. **Anais** [...] SAF: aprendizados, desafios e perspectivas. Cuiabá: SBSAF, 2016. Disponivel em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1066260/estoques-de-carbono-e-nitrogenio-do-solo-em-area-de-saf-e-floresta-nativa. Acesso em: 22 de set.2022.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. D. S. **Matéria orgânica do solo:** métodos de análises. Viçosa: [s.n.], p. 77, 2005.

MENDONÇA, E. S. *et al.* Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas agroflorestais de café conilon. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018. Disponível em: https://cadernos.aba-agroecologia. org.br/cadernos/article/view/1432. Acesso em: 20 set. 2022.

MUCHAVISOY, H. M. Estoques de carbono em floretas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazonia Oriental. 2013. Dissertação (Mestrado em Agrorecologia) – Programa de Pós–Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão (Uema), São Luís, Maranhão, 2013. Disponivel em: https://repositorio.uema.br/handle/123456789/424. Acesso em: 27 set. 2022.

NAIR, P.K.R., KUMAR, M., NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p. 10–23, 2009.

OLIVEIRA, A. C. C. **Sistemas agroflorestais com café:** fixação e neutralização de carbono e outros serviços ecossistêmicos. 2013. Dissertação (Mestrado em Agroecologia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/6212. Acesso em: 24 set. 2022.

PADOVAN, M. P. et al. Estoque de carbono na biomassa vegetal em sistemas agroflorestais de base agroecológica na região fronteiriça do Brasil com o Paraguai. I SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL. 2017. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1083460?locale=pt\_BR. Acesso em: 24 set.2022.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609–1623, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5yDMRDK5mBCzvvWV9jH37rt/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 17 set.2022.

RIBEIRO, J. M. *et al.* Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 913–923, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/25310. Acesso em: 20 set. 2022.

ROCHA, G. P. et al. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1197–1203, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/a/FqqWwCvY7RVwgG8QF9nPy6K/?lang=pt. Acesso em: 23 set. 2022

RUFINO, D. C. *et al.* Estoque de carbono do solo em agroecossistemas e vegetação secundária. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, 2022. Disponível em: file:///C:/Users/incaper/Downloads/33840–Article-380359-1-10-20220901-1.pdf. Acesso em: 23 set. 2022.

SACRAMENTO, J. A. A. S. *et al.* Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 784–795, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/V8sfqxNnshzp9JhzpbtvNkH/?lang=en. Acesso em: 25 set. 2022.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS, R. F. et al. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275–374. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/pgsolos/images/DISCIPLINAS/Mat%C3%A9ria\_org%C3%A2nica\_do\_solo\_CCA763.doc. Acesso em: 26 set. 2022.

SILVA, S. M. Quantificação de carbono de um sistema agroflorestal em área de cerrado no Brasil Central. 2013. 58 p. Monografia (Graduação em Gestão Ambiental), Universidade de Brasília, Planaltina, DF, 2013. Disponível em: https://jbb.ibict.br/handle/1/1057. Acesso em: 28 set. 2022.

SILVA, A. C. S. da. *et al.* Estoque de biomassa aérea, carbono e sequestro de dióxido de carbono em sistemas florestais na Amazônia Mato-grossense. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 4, p. 22-35, 2014. Disponível em: https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/11243. Acesso em: 25 set.2022.

SILVA, M. A. B. da *et.al*. A relevância da matéria orgânica para a manutenção da qualidade solo. *In:* SOUZA, M. N. (org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** v. 3. Canoas, RS, Mérida Publishers. 2022. p. 187–207. Disponível em: https://doi.org/10.4322/mp.978–65–84548–04–6.c6. Acesso em: 25 set. 2022.

SILVEIRA, J. G. da. et al. Fluxo de óxido nitroso e metano em sistema agroflorestal no norte de Mato Grosso. CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2016, Cuiabá, MT. Anais [...}. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1064213/fluxo-de-oxido-nitroso-e-metano-em-sistema-agroflorestal-no-norte-de-mato-grosso. Acesso em: 25 set.2022.

SIQUEIRA, C. B. *et al.* A agrofloresta como forma de recuperação e educação ambiental no município de Castelo, Espírito Santo. *In*: SOUZA, M. N. (org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. v. 3. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022. p. 299–324. 2022. Disponível em: htpp://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c10. Acesso em: 19 set. 2022.

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v. 1000. 376p. Disponível em: https://www.amazon.com/Degrada%C3%A7%C3%A3o-Antr%C3%B3pica-Procedimentos-Recupera%C3%A7%C3%A3o-Ambiental/dp/6139668735. Acesso em:?

STÖCKER, C. M. *et al.* Estoques de carbono de um Argissolo sob sistema agroflorestal. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018. Disponível em: https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/1064. Acesso em: 25 set. 2022.

STOCKMANN, U. et al. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 164, p. 80–99, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880912003635. Acesso em: 19 set. 2022.

TORRES, C. M. M. E. **Estocagem de carbono e inventário de gases de efeito estufa em sistemas agroflorestais**, Viçosa, MG. 2015. 97f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2015. Disponível em: https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/6844/1/texto%20completo.pdf. Acesso em: 22 set. 2022.

VEIGA, J. E. da. Indicadores socioambientais: evolução e perspectivas. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 29, n. 4, p.421–35, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rep/a/LWD3fxmdZS7SdGTjQvBTxgd/?lang=pt. Acesso em: 22 set.2022.

VISMARA, E. S. **Avaliação da construção e aplicação de modelos florestais de efeitos fixos e efeitos mistos sob o ponto de vista preditivo.** 2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa: Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

# CITROS COMO ALTERNATIVA À PASTAGEM DEGRADADA PARA O SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Marianna Abdalla Prata Guimarães¹; Ramon Alexandre Capucho²; João Felipe de Brites Senra³; Flávio de Lima Alves⁴

Resumo – O Estado do Espírito Santo possui uma extensa área de pastagens degradas, sobretudo na Bacia do Rio Itapemirim. Isso representa um problema no que diz respeito à emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e suas consequências no efeito estufa, devido à baixa capacidade do sistema em absorver e reter carbono. Uma estratégia para a conservação da qualidade do solo na Bacia do Rio Itapemirim é o cultivo de laranjeiras, por se tratar de uma cultura perene difundida na região e com maior capacidade para preservar ou recuperar o carbono do solo em relação às pastagens degradadas. O objetivo deste estudo é apresentar o potencial da cultura da laranjeira na substituição das pastagens degradas no Sul do Estado do Espírito Santo, para diminuir perda líquida de CO<sub>2</sub> e promover a sustentabilidade da agricultura para a região. Em um estudo comparativo entre mata nativa, citros, seringueira e pastagem, verificou-se que, no sistema com citros, houve maior potencial para preservação ou recuperação do carbono e nitrogênio presentes no solo em relação à pastagem. Os sistemas com citros apresentaram valores intermediários entre as pastagens e a mata nativa. O manejo nas entrelinhas com adubos verdes ou roçada ecológica promove maior aporte de matéria orgânica no solo, que favorece o aumento de carbono no solo e reduz as perdas líquidas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Na percepção dos agricultores, a cultivar Navelina apresentou potencial para ser utilizada sobre o porta-enxerto 'Embrapa 264' para a região Sul do Estado do Espírito Santo.

Palavras-chaves: Porta-enxerto. Solo. Carbono. Matéria orgânica. Sustentabilidade.

# CITRUS AS AN ALTERNATIVE TO DEGRADED PASTURE FOR THE SOUTH OF ESPÍRITO SANTO STATE

**Abstract** – The state of Espírito Santo has a significant amount of degraded pastures, especially in the Itapemirim River Basin. It represents a problem concerning the emission of  $CO_2$  into the atmosphere and its consequences on the greenhouse effect, due to the low capacity of the system to absorb and retain carbon. A strategy for the conservation of soil quality in the Itapemirim River Basin is the cultivation of orange trees, as it is a perennial crop widespread in the region and with a greater capacity to preserve or recover soil carbon concerning degraded pastures. The objective of this study is to present the potential of the orange crop to replace degraded pastures in the south of the state of Espírito Santo, reducing the net loss of  $CO_2$  and promoting the sustainability of agriculture for the region. In a comparative study between native forests, citrus, rubber trees, and pasture, the citrus system had a greater potential for preserving or recovering the carbon and nitrogen in the soil than the pasture. This system also showed intermediate values between the pasture and native forests. The management between the lines with green manure or ecological mowing promotes a greater contribution of organic matter in the soil, favoring the increase of carbon in the soil and reducing the net losses of  $CO_2$  to the atmosphere. The cultivar Navelina showed potential to be used on the rootstock 'Embrapa 264' in the perception of farmers in the southern region of the state of Espírito Santo.

Keywords: Rootstock. Soil. Carbon. Organic matter. Sustainability.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> M.Sc. Ciências Florestais, Extensionista Incaper, marianna.guimaraes@incaper.es.gov.br

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> M.Sc. Produção Vegetal, Bolsista Fapes

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> D.Sc. Genética e Melhoramento de Plantas, Extensionista Incaper

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> M.Sc. Agronomia (Horticultura), Pesquisador Incaper

# INTRODUÇÃO

O Brasil possui um vasto território e é caracterizado por apresentar uma grande biodiversidade ao longo de sua extensão (Aguiar *et al.*, 2016). No entanto, essa biodiversidade é ameaçada devido a fatores como o uso excessivo dos recursos naturais, expansão da silvicultura, aumento da fronteira agrícola e crescimento urbano e industrial (Peixoto; Luz; Brito, 2016).

Eventualmente, a exploração agropecuária está associada à degradação dos recursos naturais, especialmente do solo, devido ao emprego de práticas de manejo não conservacionistas. Nesse sentido, a preocupação com as mudanças climáticas e com a sustentabilidade da produção agropecuária tem gerado um olhar mais crítico para o desenvolvimento de processos produtivos cujo manejo resulte em menor impacto ao ecossistema.

O solo é um grande reservatório de  ${\rm CO_2}$ , facilmente alterado por ações antrópicas (Machado, 2005; Carvalho *et al.*, 2009). As atividades resultantes da ação humana têm ocasionado o aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (Le Queré *et al.*, 2018). Isso ocorre, especialmente, devido às mudanças decorrentes da exploração do solo, que modificam a capacidade do mesmo em armazenar o  ${\rm CO_2}$  adsorvido pelas plantas (Santana *et al.*, 2019).

De acordo com Portugal *et al.* (2008), os diferentes sistemas produtivos influenciam na quantidade de matéria orgânica no solo, aspecto que está relacionado com a dinâmica do carbono (C) e exerce papel na sustentabilidade dos ecossistemas. As medidas compensatórias para aumentar o estoque do C no solo a partir do sistema solo-planta podem retirar grande quantidade de CO<sub>2</sub> da atmosfera pelo processo de fotossíntese (Cassol *et al.*, 2019) e estocar o C na biomassa aérea, subterrânea e principalmente no solo (Carvalho *et al.*, 2009; Brevik, 2012; Zelarayán *et al.*, 2015).

Para que sejam solucionados os problemas acarretados pelas emissões de GEE, é necessário adotar medidas que visam o controle das emissões (Le Queré *et al.*, 2018) e outras ações compensatórias, como o aumento do estoque de carbono nos ecossistemas terrestres (Primieri; Muniz; Lisboa, 2017). A fim de alcançar este objetivo, é essencial adotar estratégias como a preservação das

florestas nativas, reflorestamento, sistemas integrados de lavoura, pecuária e floresta, e manejo adequado de pastagens e da agricultura (Cook; Binkley; Stape, 2016; Magalhães; Ramos; Weber, 2016; Vicente; Gama-Rodrigues, E.; Gama-Rodrigues, A., 2019).

O Estado do Espírito Santo (ES) apresenta um problema relacionado à degradação do solo provocada pelas pastagens mal manejadas. De acordo com o Centro de Desenvolvimento do Agronegócio (Barreto; Sartori; Dadalto, 2012), em todo o ES existiam cerca de 390 mil hectares de área agrícola degradada, com maior gravidade nas bacias da região Noroeste e Sul de baixa altitude.

Os resultados apresentados a partir do Censo Agropecuário de 2017 indicaram que havia quase 1,5 milhão de hectare utilizado com pecuária no ES, dos quais 157 mil hectares representavam pastagens plantadas em más condições (IBGE, 2019). Em razão disso, é necessário repensar os processos e alterar a matriz produtiva da região para mitigar os efeitos negativos que a agropecuária, especialmente no que diz respeito às pastagens mal manejadas, tem causado ao ecossistema.

Uma estratégia para a conservação da qualidade do solo na Bacia do Rio Itapemirim, capaz de gerar trabalho e renda para as famílias de agricultores, além de promover a sustentabilidade da agricultura no Sul do Espírito Santo, é o cultivo de citros, especialmente laranjeira—doce (Citrus sinensis (L.) Osbeck). A produção de laranjas é tradicionalmente desenvolvida há mais de 40 anos na região, sobretudo no Município de Jerônimo Monteiro.

Devido à possibilidade do cultivo consorciado com adubos verdes (Dalcolmo; Almeida; Guerra, 1999) e por se tratar de uma cultura perene, amplamente difundida na região, os citros apresentam potencial para serem cultivados no Sul do ES. Além disso, com maior capacidade para preservar ou recuperar o carbono e o nitrogênio do solo em relação às pastagens degradadas, os citros apresentam valores intermediários entre essas pastagens e a mata nativa (Portugal et al., 2008).

Nesse sentido, o presente estudo tem por objetivo apresentar o potencial de uso da laranjeira como estratégia de sustentabilidade da agricultura para a região Sul do ES, em substituição às pastagens degradadas.

#### CARBONO E SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA

## CICLO DO CARBONO

As plantas absorvem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera e, por meio da fotossíntese, captam a energia da luz solar, formando ligações entre os átomos de carbono (C) e produzindo moléculas orgânicas, que são utilizadas em seu desenvolvimento (Vieira *et al.*, 2010; Brady; Weil, 2013; Ferreira, 2013). Parte do carbono absorvido pelas plantas é disponibilizado para os solos por senescência ou exsudação (Ferreira, 2013).

Os materiais orgânicos produzidos pelo processo da fotossíntese formam a vegetação viva, e a maior parte desses materiais é adicionada ao solo como resíduo vegetal ou radicular. Parte das plantas pode ser ingerida pelos animais, com a metade do C ingerido exalado para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>, enquanto a outra metade é disponibilizada ao solo pelos tecidos orgânicos ou dejetos, quando os organismos do solo devolvem o C para a atmosfera pelo processo de metabolismo dessas substâncias (Brady; Weil, 2013).

No ciclo do C existem diferentes reservatórios, entre os quais se destacam a atmosfera, a crosta terrestre e os oceanos como os principais. Os combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural e outros) são reservatórios de ambientes abióticos (componentes não vivos de um ecossistema). Existem reservatórios biológicos (bióticos) que servem como ambiente de armazenamento temporário para o C até que ele retorne ao ciclo, como, por exemplo, os animais e as plantas, que usam carbono em seus sistemas e os liberam por meio da respiração ou decomposição (Villela; Freitas, 2012).

O ciclo global do carbono é formado por dois ciclos que acontecem em diferentes velocidades: o biológico e o biogeoquímico. No ciclo biológico, o carbono faz parte dos processos biológicos (molecular, celular e fisiológico) de seres vivos. Quanto ao ciclo biogeoquímico, há uma transferência do carbono entre a atmosfera e a litosfera. Esse é um ciclo fechado, e sempre se observa um fluxo de reciclagem desse elemento (Brady; Weil, 2013). O ciclo do carbono nos reservatórios ocorre em função de processos físicos, químicos, geológicos e biológicos.

As trocas de C entre os reservatórios é o que define o ciclo do carbono. Ao analisar um determinado reserva-

tório, é possível compreender se ele funciona como sumidouro ou fonte de CO<sub>2</sub>. Em áreas agrícolas estáveis, há um equilíbrio entre a entrada e a emissão de CO<sub>2</sub> devido à incorporação dos tecidos vegetais. Ao contrário, em solos manejados de forma ineficiente, há perda líquida de C para a atmosfera (Brady; Weil, 2013).

## QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo pode ser mensurada por indicadores biológicos, químicos ou físicos, que refletem a condição de sustentabilidade do ecossistema (Araújo; Monteiro, 2007). Contudo, os autores afirmaram que os indicadores biológicos proporcionam respostas rápidas a mudanças no ambiente e grande potencial para uso na avaliação da qualidade do solo.

No Brasil, a biomassa microbiana, a respiração do solo, a fixação biológica do  $N_2$  e as enzimas do solo foram sugeridos como indicadores biológicos e bioquímicos para a avaliação da qualidade do solo (Frighetto; Valarini, 2000). A respiração do solo, processo fundamental no ciclo do carbono, é responsável pela liberação de  $CO_2$  na atmosfera a partir da oxidação da matéria orgânica a  $CO_2$  por microrganismos aeróbios (Araújo; Monteiro, 2007). Esse processo é influenciado pelo tipo de vegetação, pela quantidade de serapilheira e pelo microclima local (Moura et al., 2015).

Além de diminuir com a profundidade, a respiração do solo também está relacionada com o conteúdo de matéria orgânica e outros indicadores biológicos, por isso apresenta variação entre diferentes sistemas de manejo do solo. Além disso, é influenciada pela disponibilidade de nutrientes, umidade e temperatura (Araújo; Monteiro, 2007). A partir da alteração do manejo, a matéria orgânica sofre alterações, alcançando novo equilíbrio, maior na mata natural, seguido do cultivo com culturas perenes, e menor em áreas com culturas anuais (Marchiori Júnior; Melo, 2000).

A adoção de práticas de manejo conservacionistas com a utilização de matéria orgânica no solo, seja humificada ou por meio de restos de resíduos orgânicos frescos, podem contribuir para o aumento da respiração basal, que melhora a atividade microbiológica e, consequentemente, as características do solo (Moura et al., 2015).

O balanço entre a entrada de carbono fixado pelas plantas e as perdas por decomposição da matéria orgânica influenciam os conteúdos de carbono orgânico no solo (Martin Neto et al., 2005). O uso do solo pela agricultura reduz a matéria orgânica leve quando comparada a sistemas naturais (Rosa et al., 2003; Portugal et al., 2008), devido à erosão, processos de mineralização da matéria orgânica, oxidação do C orgânico e menor aporte orgânico (Houghton; Skole; Lefkowitz, 1991). Contudo, cada sistema agrícola apresenta uma capacidade de recuperação diferente desse compartimento (Portugal et al., 2008). Nesse sentido, a adoção de sistemas agrícolas que proporcionem maior aporte de matéria orgânica no solo, associados a práticas conservacionistas, são indispensáveis para preservar a qualidade do solo e promover a sustentabilidade da agricultura.

# CITROS COMO ALTERNATIVA ÀS PASTAGENS DEGRADADAS PARA O SUL DO ES

Os citros, pertencentes à família Rutaceae, compreendem um vasto grupo de plantas, entre as quais se destacam as do gênero Citrus devido ao alto valor econômico e nutricional. Esse gênero é diverso em espécies, variedades, cultivares e clones, abrange, por exemplo, a laranjeira-doce (Citrus sinensis (L.) Osbeck), a tangerina (Citrus reticulata), a lima-ácida (Citrus latifolia), o limão (Citrus limon) e o pomelo (Citrus paradisi) (Spiegel-Roy; Goldschmidt, 1996).

Entre as variedades e cultivares de laranjeira-doce, destacam-se a 'Pera', 'Valência', 'Natal', 'Seleta', 'Bahia' e 'Folha Murcha' como as mais conhecidas, plantadas e comercializadas no Brasil, destinadas, principalmente, ao mercado de fruta fresca e ao processamento para suco (Bastos *et al.*, 2014).

Entre 2000 e 2008, diversos pomares cítricos do Sul do Estado do Espírito Santo foram erradicados devido à entrada do fungo causador da doença conhecida como pinta-preta (*Guignardia citricarpa*). Com o objetivo de revitalizar a produção de laranjas na região, especialmente no Município de Jerônimo Monteiro, foi criado o Polo de Laranja da Região Sul Caparaó, em 2010. As ações do Polo contemplaram 19 municípios, onde foram distribuídas 80 mil mudas de laranjeiras (Guimarães; Costa, 2014).

Alves et al. (2008) indicaram seis cultivares de laranja promissoras para o Sul do ES. Para o consumo in natura, 'Navelina', 'Navelate' e 'Lanelate'; e para suco, 'Pera IAC', 'Pera D6' (Pera Seleção Jetibá) e 'Salustiana'. A 'Salustiana' também é indicada para o consumo in natura pela baixa quantidade de sementes. Assim, é possível ampliar a época de colheita de laranja, o material genético dos pomares e a área com plantios da fruta, de forma a aumentar a oferta no estado.

Considerando o histórico da citricultura no Sul do ES, o potencial para a geração de emprego e renda e os problemas ocasionados pelas pastagens degradadas, a laranjeira representa uma cultura que, manejada de forma eficiente, está apta para contribuir com a manutenção do carbono no solo, com a conservação dos ecossistemas e com a sustentabilidade da agricultura. Além disso, representa uma alternativa de diversificação das propriedades rurais, geralmente ocupadas pelo café e pela bovinocultura de leite e corte.

# QUALIDADE DO SOLO EM CULTIVOS COM CITROS

O aumento da atividade microbiana do solo ocasionado pela aeração, umedecimento e secagem mais frequentes e temperaturas mais elevadas (Stevenson, 1982), associados ao uso contínuo de implementos, as queimadas e a erosão, promovem a redução do aporte de carbono no solo (Marchiori Júnior; Melo, 2000).

Portugal et al. (2008) realizaram um estudo comparativo para avaliar a dinâmica do carbono (C) e do nitrogênio (N) em solos que continham mata nativa, citros, seringueira e pastagem. Os autores concluíram que os sistemas com citros e seringueira apresentaram maior potencial para preservar ou recuperar o C e o N do solo em relação à pastagem, pois apresentaram valores intermediários entre a pastagem e a mata nativa, atribuído ao menor revolvimento do solo e maior aporte de resíduo vegetal.

Em um ensaio realizado no Município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, Guimarães e Mendonça (2019) avaliaram os teores de matéria orgânica do solo (MOS) com sistemas agroflorestais (SAF) compostos por culturas de café e laranjeira, em comparação com monocultivos dessas culturas e com cultivos anuais. Os autores observaram que, no solo contendo SAF com laranjeiras, o teor de MOS

aumentou 54% em relação ao teor inicial (18,4 g Kg<sup>-1</sup>), seguido do SAF com café, laranjeira, culturas anuais e café em monocultivo, respectivamente. Nessas condições, depois dos SAF, a cultura das laranjeiras promoveu maior aporte de MOS do que os monocultivos de café e as culturas anuais, possivelmente devido ao manejo da cobertura vegetal com roçadas, sem o uso de herbicidas.

Em um solo cultivado com citros, Moura et al. (2015) concluíram que a utilização de matéria orgânica no solo contribuiu para o aumento da respiração basal. Os autores observaram melhorias na atividade microbiológica do solo e benefícios nas características do solo e no desenvolvimento dos citros. Santos e Xavier (2019) observaram que, a manutenção de coberturas vegetais com gramíneas ou leguminosas resultou em incrementos na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo coberto com citros, o que melhorou as características do solo e o potencial de produção das plantas.

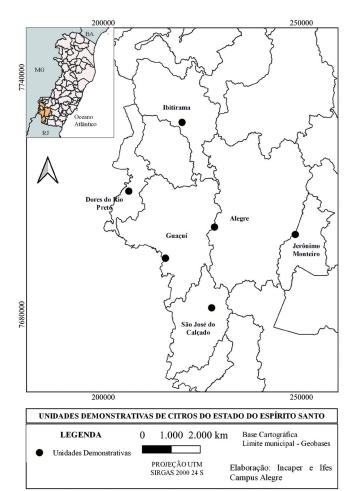
Para aumentar o aporte de material vegetal no solo e, consequentemente, a entrada de carbono, o manejo de plantas espontâneas, nas entrelinhas dos citros, pode ser realizado a partir do cultivo de adubos verdes (plantas de cobertura) ou, ainda, a partir da roçada ecológica de gramíneas ou vegetação espontânea no pomar (Matheis; Azevedo; Victória Filho, 2006).

Em estudo realizado em um pomar de laranjeira, no Município de Jerônimo Monteiro, Dalcolmo, Almeida e Guerra (1999) identificaram o amendoim forrageiro (Arachis pintoi) como potencial adubo verde para o cultivo consorciado aos citros. Os autores verificaram que a espécie apresentou melhor velocidade inicial de cobertura de solo, produção de massa verde e seca e não agressividade às plantas de laranjeira.

# POTENCIAIS COMBINAÇÕES DE COPA E PORTA--ENXERTO PARA O SUL DO ES

Em 2022, o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) realizou estudos para identificar combinações de copa e porta-enxerto de laranjeiras com potencial para o Sul do ES. O estudo se baseou na percepção dos agricultores sobre 18 combinações de plantas, em pomares instalados em 2010, nos municípios de Jerônimo Monteiro (120 m), Alegre (710 m),

Dores de Rio Preto (840 m), Guaçuí (590 m), Ibitirama (840 m) e São José do Calçado (540 m) (Figura 1). As cultivares de copa avaliadas foram 'Pera D6', 'Salustiana', 'Pera IAC', 'Navelina', 'Navelate' e 'Lanelate'. Os porta-enxertos analisados foram o limão 'Cravo' ou 'Galego' (Citrus limonia), a tangerina 'Cleopatra' (Citrus reshui 'Nortex-tane') e o híbrido 'Embrapa 264' (cruzamento de Citrus sunki Hort. Ex Tanaka e Poncirus trifoliata).



**Figura 1 –** Localização das Unidades Demonstrativas de laranja do Estado do Espírito Santo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os indicadores de qualidade de planta e frutos utilizados para registrar a percepção dos agricultores sobre as combinações de copa e porta-enxerto de laranjeiras estão apresentados na Tabela 1. Para isso, foi aplicado um questionário estruturado, no qual os agricultores

atribuíram uma nota de 1 a 5 para cada combinação de plantas, uma vez que: (1) não sei opinar, (2) insatisfeito, (3) pouco satisfeito, (4) satisfeito e (5) muito satisfeito. Para plantas inexistentes, foi atribuído 0 (pesquisa aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – N° CAAE 58900622.3.0000.8151).

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, a partir do somatório das notas atribuídas pelos agricultores. Dessa forma, foi possível obter o *ranking* para as combinações de copa e porta-enxerto para cada município e por grupo de indicadores (planta e fruto).

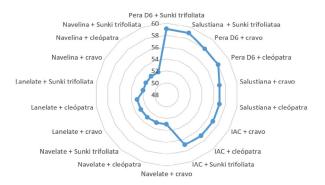
**Tabela 1** – Indicadores de qualidade de planta e frutos utilizados na avaliação da percepção dos agricultores sobre 18 combinações de copa e porta-enxerto de laranjeiras no Sul do Estado do Espírito Santo, em 2022

Indicadores de qualidade de planta	Indicadores de qualidade de fruto
Porte da planta	Conteúdo de suco
Produtividade	Acidez
Demanda de mão de obra	Doçura
Manejo da colheita	Espessura da casca
Uniformidade de maturação dos frutos	Quantidade de sementes
Adaptação ao local	Tamanho dos frutos
Severidade de doenças	Coincidência da época de colheita e demanda do mercado
Severidade de pragas	Aceitação de mercado consumidor

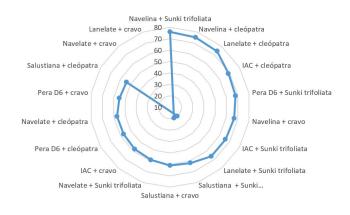
Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Figura 2, estão apresentados os resultados da percepção dos agricultores para as combinações de copa e porta-enxerto de laranja por município. As combinações 'Pera D6' e 'Salustiana' sobre o porta-enxerto 'Embrapa 264' receberam a maior pontuação para o Município de Jerônimo Monteiro (59). Para os demais municípios, a 'Navelina' foi indicada como copa promissora pelos agricultores, enquanto a 'Lanelate' teve o mesmo resultado em todos os porta-enxertos para Ibitirama e São José do Calçado.

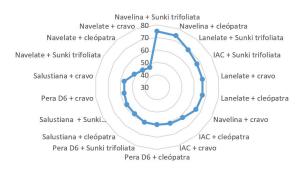
#### Jerônimo Monteiro



# Alegre



#### Guaçuí



#### São José do Calçado

#### Navelina + cravo Pera D6 + cleópatra 70 Navelina + cleópatra 65 Salustiana + cleópatra Navelina + Sunki trifoliata 60 Salustiana + Sunki trifoliataa Lanelate + Sunki trifoliata 55 Pera D6 + cravo Lanelate + cleópatra 45 40 IAC + cleópatra Lanelate + cravo Salustiana + cravo IAC + crayo Pera D6 + Sunki trifoliata IAC + Sunki trifoliata Navelate + Sunki trifoliata Navelate + cravo Navelate + cleópatra

#### Dores do Rio Preto



#### **Ibitirama**



**Figura 2** – Percepção dos agricultores sobre indicadores de qualidade de planta e frutos para 18 combinações de copa e portaenxerto de laranjeiras, por município, no Sul do Estado do Espírito Santo para 2022.

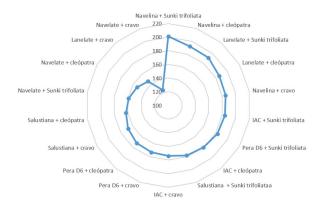
Fonte: Elaborada pelos autores.

Em estudo realizado por Nascimento *et al.* (2015), no qual foi avaliada a adaptação de diferentes combinações de copa e porta-enxerto de laranjeiras, na região Sul do Espírito Santo, verificou-se que as laranjeiras de mesa enxertadas sobre 'Cleópatra' e 'Cravo', e as laranjeiras de suco, 'Salustiana' e 'Pera D6', sobre o híbrido 'Embrapa 264', foram as combinações que apresentaram os melhores resultados, o que corrobora com as informações apresentadas.

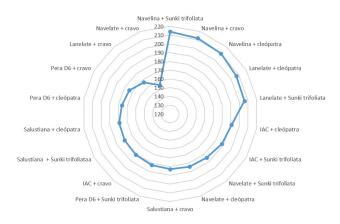
De maneira geral, pode-se inferir que as cultivares de suco analisadas foram indicadas pelos agricultores como as mais promissoras para o local com menor altitude, como Jerônimo Monteiro, enquanto as variedades para o consumo *in natura* foram indicadas para locais de maior altitude e, portanto, com temperaturas mais amenas.

Na Figura 3, estão apresentados os resultados da percepção dos agricultores para as 18 combinações de copa e porta-enxerto de laranjeiras, separadas por grupo de indicadores (planta e fruto).

#### Indicadores de qualidade de planta



#### Indicadores de qualidade de fruto



**Figura 3** – Percepção dos agricultores sobre 18 combinações de copa e porta-enxerto de laranja para indicadores de qualidade de planta e fruto para o Sul do Estado do Espírito Santo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para todos os indicadores, as combinações 'Navelina' e 'Lanelate' sobre os porta-enxertos 'Cleópatra' e 'Embrapa 264' se destacaram como as mais promissoras na percepção dos agricultores para a região Sul do ES. Ao contrário, as mesmas cultivares sobre o porta-enxerto 'Cravo' receberam as menores pontuações. Pode-se inferir, portanto, que há influência do porta-enxerto na qualidade da planta e dos frutos, na percepção dos agricultores. Nesse caso, tanto a escolha da copa quanto do porta-enxerto pode influenciar no sucesso do pomar.

Em citros, o porta-enxerto desempenha grande importância sobre as características da variedade copa, como, por exemplo, na produção, porte de planta, qualidade dos frutos e resposta a estresses abióticos e bióticos (Pompeu Junior, 2005).

Frequentemente, as plantas cítricas do Brasil são cultivadas sobre os porta-enxertos limão 'Cravo' e Citrumelo Swingle, o que pode colocar em risco a citricultura brasileira, devido à baixa diversidade genética. O uso de porta-enxertos alternativos, como o Poncirus trifoliata é limitado, devido à ocorrência de incompatibilidade entre seleções desse porta-enxerto e laranjeiras 'Pera', por exemplo. Contudo, o Poncirus trifoliata tem sido muito utilizado como um dos genitores, por apresentar maior tolerância à gomose, doença causada pelo fungo Phytophthora spp., resistência à tristeza dos citros e aos nematóides, por induzir boa qualidade dos frutos e menor porte da variedade copa (Müller; Teófilo Sobrinho; Domingues, 1996; Blumer; Pompeu Junior, 2005; Agustí, 2003).

# **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os problemas relacionados à degradação do solo por meio de pastagens mal manejadas necessitam de especial atenção dos agricultores, instituições de ensino, pesquisa, extensão, e fiscalização, uma vez que podem acarretar desertificação do solo e aumento da emissão dos gases de efeito estufa.

O cultivo de citros, especialmente laranjeiras-doces, que já é uma realidade no Sul do Estado do Espírito Santo, apoiado por diversas ações governamentais, apresenta-se como estratégia para uso e ocupação do solo em alternativa às pastagens degradadas. Contudo, vale ressaltar que qualquer atividade a ser desenvolvida necessita de manejo adequado para evitar problemas com erosão, aquecimento e exposição do solo, para reduzir as perdas líquidas de CO<sub>3</sub>.

Carecem de estudos na literatura sobre a capacidade dos citros em absorver e reter o carbono no solo quando comparado a outras culturas agrícolas.

# **CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES**

GUIMARÃES, M. P. A. e CAPUCHO, R. A. coletaram dados, escreveram e revisaram o artigo. ALVES, F de L., revisou o artigo e SENRA, J. F. de B. analisou estatisticamente os dados.

#### **CONFLITO DE INTERESSES**

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes) pelo apoio financeiro concedido às pesquisas no Incaper por meio da Portaria 002–R/2020 (TO 591/2020). Agradecem, também, aos extensionistas do Incaper que, com dedicação e alegria, contribuíram para as pesquisas.

# REFERÊNCIAS

AGUIAR. S. *et al.* Biome networks: in–formation and communication for sociopolitical action in eco–regions. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 3, p. 231–248, 2016.

AGUSTÍ, M. F. Citricultura. Madrid: Mundi-Prensa, 2003. 422 p.

ALVES, F. de L. et al. Novas cultivares de laranjas para o município de Guaçuí, ES. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. Anais [...]. Vitória, ES: Centro de Convenções, 2008.

ARAÚJO A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66–75, 2007.

BARRETO, P.; SARTORI, M.; DADALTO, G. G. Levantamento de áreas agrícolas degradadas no Estado do Espírito Santo. Vitória: Cedagro, 2012.

BASTOS, D. C. *et al.* Cultivares copa e porta–enxertos para a citricultura brasileira. **Informe Agropecuário**, v. 35, n. 281, p. 36–45, 2014.

BLUMER, S.; POMPEU JUNIOR, J. Avaliação de citrandarins e outros híbridos de trifoliata como porta-enxertos para citros em São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 264–267, 2005.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Matéria Orgânica do Solo, *In*: BRADY, N. C.; WEIL, R. R. (org.). **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 398–436.

BREVIK, E. C. Soils and climate chage: gas fluxes and soil processes. **Soils Horizons**, v. 53, n. 4, p. 12–23, 2012.

CARVALHO, M. T. de M. et al. Manejo do solo sob produção integrada de citros. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 4 p.

CASSOL P. C. *et al*. Alterações no carbono orgânico do solo de campo natural submetido ao plantio de *Pinus taeda* em três idades. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 545–558, 2019.

COOK R. L.; BINKLEY D.; STAPE J. L. Eucalyptus plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 92–98, 2016.

DALCOLMO, J. M.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. Avaliação de leguminosas perenes para cobertura de solo em pomar cítrico no município de Jerônimo Monteiro, ES. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1999. 8 p.

FERREIRA, E. A. B. **Dinâmica de longo prazo do carbono do solo em sistemas de manejo no Cerrado**. 2013. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013. f. 235.

FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna: Embrapa, 2000. 198 p.

GUIMARÃES, L. A. de O. P; MENDONÇA, G. C. de. Agricultura sintrópica (agrofloresta sucessional): fundamentos e técnicas para uma agricultura efetivamente sustentável. **Incaper em Revista**, v. 10, p. 6–21, 2019.

GUIMARÃES, M. A. P.; COSTA, A. de F. S. Laranja. *In*: COSTA, A. de F. S. (coord.) **Relatório Anual de Fruticultura**: 2013–2014. Vitória, ES: Incaper, 2014. 73–80 p.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; LEFKOWITZ, D. S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985 II. Net release of  $\mathrm{CO}_2$  to the atmosphere. Forest ecology and management, v. 38, n. 3–4, p. 173–199, 1991.

IBGE – (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos. Rio de
Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://censoagro2
017.ibge.gov.br/templates/censo\_agro/resultadosagro/
estabelecimentos.html?localidade=32. Acesso em: 16 set. 2022.

LE QUÉRÉ C. et al. Global Carbon Budget 2018. Earth System Science Data, v. 10, p. 2141–2194, 2018.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329–334, 2005.

MAGALHÃES, S. S. A.; RAMOS, F. T.; WEBER, O. L. S. Estoques de carbono em Latossolo após trinta e oito anos sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 85–91, 2016.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. de. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1177–1182, 2000.

MARTIN NETO, L. *et al.* **Dinâmica e estabilidade da matéria orgânica em área com potencial para sequestro de carbono no solo**. Embrapa Instrumentação–Documentos (INFOTECA–E), 2005.

MATHEIS, H. A. S. M.; AZEVEDO, F. A. de; VICTÓRIA FILHO, R. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Laranja**, v.27, n.1, p.101–110, 2006.

MÜLLER, G. W.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; DOMINGUES, E. T. Compatibilidade da laranjeira Pêra clone Bianchi, sobre doze porta-enxertos, após 23 anos de plantio. **Laranja**, Corderópolis-SP, v.17, n.1, p.123-141, 1996.

MOURA, J. A. *et al*. Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivado com citros e tratado com resíduos orgânicos no estado de Sergipe. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 36, n. 2, p. 731–746, 2015.

NASCIMENTO, P. O. et al. Adaptação de diferentes de variedades copa e porta-enxertos de citros na região sul do estado do Espírito Santo. In: XV BRAZILIAN CONGRESS OF PLANT PHYSIOLOGY, 15., 2015, Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu-PR: 1 st Brazilian-Israeli Plant Science Conference, 2015.

PEIXOTO, A. L; LUZ, J. R. P.; BRITO, M. A. de. **Conhecendo a biodiversidade**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Programa de Pesquisas em Biodiversidade, 2016. 196 p.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. *In*: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Eds.). **Citros**. Campinas: Fundag, 2005. p. 63–104.

PORTUGAL, A. F. *et al*. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas Implantados em argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2091–2100, 2008.

PRIMIERI, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. M. Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

ROSA, M. E. C. *et al.* Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférrico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 911–923, 2003.

SANTANA, M. S. *et al*. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 16, p. e00205, 2019.

SANTOS, N. S dos; XAVIER, F. A da S. Efeito do cultivo de coberturas vegetais em pomar de laranjeira sobre frações do carbono orgânico do solo. 13ª Jornada Científica – **Embrapa Mandioca e Fruticultura**. 2019. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1123067/1/ANAIS-2019-Ainfo-67.pdf. Acesso em 05 jul. 2022.

SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E. E. **Biology of citrus**. First edition. Cambridge: University Press, 1996. 230 p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry, genesis, composition, reaction**. New York: J. Wiley, 1982. 443 p.

VICENTE, L. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Organic carbon within soil aggregates under forestry sys-tems and pasture in a southeast region of Brazil. **Catena**, v. 182, p. e104139, 2019.

VILLELA, A. A.; FREITAS, M. V. O ciclo do carbono e emissões no uso do solo e da biomassa. *In*: VILLELA, A.; FREITAS, M.; ROSA, L. P. (org.). **Emissões de carbono na mudança de uso do solo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. p. 3–33. VIEIRA, E. L. et al. Manual de fisiologia vegetal. São Luís, MA: EDUFMA, 2010. 230 p.

ZELARAYÁN, M. L. C. *et al.* Impacto da degradação sobre o estoque total de carbono de florestas ripárias na Amazônia Oriental, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, p. 271–282, 2015.

# LEVANTAMENTO DE EMISSÕES E MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA PECUÁRIA BOVINA NO ESPÍRITO SANTO

Mércia Regina Pereira de Figueiredo¹; Daiani Bernardo Pirovani²; Inacio de Barros³; Tiago de Oliveira Godinho⁴

**Resumo –** A busca pela sustentabilidade dos sistemas produtivos agropecuários está cada vez mais em evidência devido ao impacto ambiental das atividades agropecuárias e sua direta relação com as mudanças climáticas. Nesse contexto, é importante levantar informações a respeito da emissão e propor alternativas de mitigação dos gases de efeito estufa na pecuária bovina no Estado do Espírito Santo, de modo a garantir no médio e longo prazo a produção sustentável de produtos de origem animal para o atendimento da demanda atual e futura da sociedade. A produção de gases de efeito estufa contabilizados como dióxido de carbono equivalente alteram o balanço energético do planeta e interferem no clima. No setor agropecuário, a bovinocultura de corte e leite tem importante participação nesse cenário de forma que várias alternativas, como o manejo de pastagens, uso de sistemas integrados, melhora da qualidade da dieta oferecida aos animais, uso de aditivos, seleção de animais mais eficientes, dentre outros, podem mitigar esses gases. Para isso, é preciso haver incentivo à divulgação e ao fortalecimento de ações dos diversos segmentos da cadeia produtiva em união com políticas públicas governamentais para que o cenário atual seja modificado.

Palavras-chaves: Afolu. Carbono. Mudanças climáticas. Pecuária sustentável.

# SURVEY OF EMISSIONS AND MITIGATION OF GREENHOUSE GASES FROM CATTLE FARMING IN ESPÍRITO SANTO

**Abstract** – The search for sustainability in agricultural production systems is becoming increasingly evident due to the environmental impact of agriculture and cattle-raising activities and their direct relationship with climate change. In this context, it is necessary to gather information on greenhouse gas emissions and mitigation alternatives in cattle ranching in the State of Espírito Santo to guarantee the sustainable production of animal products in the medium and long term so that society's current and future demands can be met. The production of greenhouse gases accounted for as carbon dioxide equivalent alters the planet's energy balance and affects the climate. In the agricultural sector, beef and dairy cattle farming play an important role in this scenario, and various alternatives such as pasture management, the use of integrated systems, the improvement of the quality of the diet offered to animals, the use of additives, the selection of more efficient animals, among others, can mitigate these gases. To do this, we need to encourage the dissemination and strengthening of actions by the various segments of the production chain in conjunction with government public policies so that the current scenario can be changed.

Keywords: Afolu. Carbon. Climate change. Sustainable livestock farming.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>D.Sc. Nutrição Animal, Pesquisadora Incaper, mercia.figueiredo@incaper.es.gov.br

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>D.Sc. Produção Vegetal, Professora Ifes Campus Alegre-ES

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> D.Sc. Nutrição de Plantas, Pesquisador Embrapa

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> D.Sc. Recursos Florestais, Engenheiro Florestal Vale

# **INTRODUÇÃO**

Com o crescimento da população mundial, houve a necessidade de intensificar os sistemas produtivos frente ao aumento da demanda por alimentos e energia. Atreladas à necessidade de aumento de produtividade, uso sustentável dos recursos naturais e eficiência nas atividades ligadas à agropecuária crescem também as restrições para expansão sobre novas áreas para uso, além da demanda da sociedade por alimentos saudáveis e sustentáveis.

O setor agropecuário é, em sua maioria, vulnerável às mudanças do clima, e frente ao atual cenário de emissão de gases de efeito estufa (GEE), enfrentará importantes desafios relacionados à frequência e intensidade de eventos climáticos.

A pecuária bovina é uma atividade de grande importância econômica para o Brasil, tanto na produção de carne quanto de leite. O país que contou com um rebanho de 224,6 milhões de cabeças, em 2021, é o maior exportador de carne bovina mundial, destacando-se também como o segundo maior produtor desse tipo de carne no mundo (IBGE, 2021). Ainda de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), na pecuária leiteira, 1,1 milhão de propriedades leiteiras produziram cerca de 35,4 bilhões de litros de leite em 2021. O produto interno bruto do setor agropecuário, que representa esses segmentos, foi de R\$ 439,84 bilhões em 2020 (IBGE, 2020). Mais de 80% da pecuária nacional é desenvolvida em pastagens em uma área de aproximadamente 150 milhões de hectares (ha) (MapBiomas, 2021).

No Estado do Espírito Santo (ES), o rebanho de bovinos, em 2022, foi de 2,2 milhões de cabeças, com 248 mil cabeças de vacas ordenhadas que produziram 392,4 milhões de litros de leite (IBGE, 2022). Apesar da reconhecida importância da agropecuária na produção de alimentos e geração de renda, atualmente, muito se discute sobre o impacto ambiental das atividades pecuárias e agrícolas, principalmente relativo às mudanças climáticas.

Os GEE são compostos que, em concentração elevada na atmosfera, têm o potencial de provocar efeitos adversos no clima. Os principais GEE são dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Sabe-se que a

bovinocultura é uma atividade emissora majoritariamente de CH<sub>4</sub>, oriundo da fermentação entérica<sup>5</sup> dos bovinos.

No ES, é importante compreender a origem dessas emissões em todos os setores, para que seja possível propor alternativas de mitigação a médio e longo prazo. Na literatura, as opções recomendadas para mitigação desses gases, na pecuária, envolvem o adequado manejo nutricional do rebanho, com a oferta de alimentos com melhor qualidade nutricional e uso de aditivos alimentares anti-metanogênicos; animais com maior potencial produtivo oriundos do melhoramento genético; sistemas integrados em suas variadas modalidades; dentre outros (Pickering et al., 2015; Vaz et al., 2020; Beauchemin et al., 2022).

## **OBJETIVO**

O presente trabalho objetiva apresentar informações a respeito da emissão e alternativas de mitigação dos GEE da pecuária bovina no ES a médio e longo prazo frente às mudanças climáticas, de modo a garantir a produção sustentável de produtos de origem animal à população atual e futura.

#### **DESENVOLVIMENTO**

INVENTÁRIOS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE

Os GEE emitidos pela agropecuária são oriundos da fermentação entérica animal, manejo de dejetos, queima de resíduos agrícolas, solos manejados e cultivo de arroz, principalmente, e são representados pelo CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Esses gases possuem diferentes potenciais de influenciar mudanças no clima global quando estão presentes na atmosfera, pois interagem com a radiação solar em intensidades variadas.

Os GEE são computados conjuntamente, e, para isso, todos são convertidos para uma medida comum: o  ${\rm CO_2}$  equivalente ( ${\rm CO_2}$ -eq). A conversão leva em consideração o

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>A fermentação entérica é uma parte natural do processo de digestão de animais ruminantes, tais como bovinos, caprinos, ovinos e búfalos, que ocorre no rúmen. Nesse processo, a microbiota ruminal, formada por bactérias, protozoários, fungos e *Archeas* metanogênicas, convertem os alimentos em ácidos graxos voláteis, principalmente os ácidos acético, propiônico e butírico, principal fonte de energia desses animais. Além disso, são produzidos a proteína microbiana, vitamina K e vitaminas do complexo B, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, que são eliminados representando uma perda de energia ao animal (Owens; Goetsch, 1993 *apud* Valadares Filho; Pina, 2011).

potencial de aquecimento global (GWP, na sigla em inglês) ou a capacidade de retenção de calor, no horizonte de 20 ou 100 anos (GWP20 ou GWP100), em relação à referência, que é o CO<sub>2</sub>. Geralmente, para o Setor da Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (Afolu, em inglês)<sup>6</sup>, usa–se o GWP100.

Os GWP100 dos principais GEE da pecuária, de acordo com o IPCC (2006), são o  $CO_2$ , que, como referência, tem o GWP100 igual a unidade; o  $CH_4$ , que tem o GWP100 igual a 27; e o  $N_2O$ , que tem o GWP100 igual a 273, indicando que a capacidade de retenção de calor do  $CH_4$  é 27 vezes maior do que o  $CO_2$  e do  $N_2O$  é 273 vezes maior.

Para compreender a contribuição de cada atividade humana nas mudanças climáticas globais com a emissão de GEE, conta-se com duas bases de dados. Tratam-se do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e do Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene). Ambas as plataformas se encontram disponíveis gratuitamente e serão descritas mais detalhadamente a seguir.

O SEEG é fruto de uma iniciativa do Observatório do Clima. As Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa<sup>7</sup> são geradas segundo as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com base na metodologia dos Inventários de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa, elaborado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e em dados obtidos através de relatórios governamentais, institutos, centros de pesquisa, entidades setoriais e organizações não governamentais. Tal metodologia é apresentada oficialmente no meio científico por Azevedo et al. (2018), e a metodologia adotada para desenvolver os cálculos das estimativas de emissões e remoções de carbono (C) dos setores segue as Guias Metodológicas do IPCC (IPCC, 2006).

O relatório mais recente, disponibilizado pelo SEEG (10<sup>a</sup> Edição), foi publicado em 2023 e se referiu às emissões dos setores correspondentes às atividades humanas, incluindo a agropecuária, no período de 1970 a 2021 (SEEG, 2023).

A segunda fonte de dados de emissões e remoções de GEE é o Sirene, desenvolvido pelo MCTI. Tal sistema foi instituído pelo governo brasileiro como instrumento oficial para a disponibilização de resultados de emissões dos gases no país. A quinta edição do Relatório Anual de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Sirene, é referente ao ano de 2020, correspondendo às emissões por setores de 1970 a 2020 (MCTI, 2021). Porém, como o relatório do MCTI é atualizado a cada cinco anos, esse último relatório disponível apresenta os dados de uso da terra somente até 2016.

É importante destacar que os dados disponibilizados pelo Sirene apresentam maior base de informações, principalmente para o Setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF). Assim, é possível consultar os estoques de C para cada fitofisionomia de cada bioma do Brasil.

Tanto SEEG quanto Sirene utilizam as diretrizes de cálculo de emissão, estoque e remoção de C desenvolvidas em formatos de guias, de acordo com o IPCC (2006).

# EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE NA AGROPECUÁRIA

Segundo os dados de inventário de emissões e remoções de GEE do SEEG, no Brasil, em 2021, as emissões do setor agropecuário foram as mais altas da série histórica, totalizando 601 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq (GWP AR5), que representa um aumento de 3,8% em relação a 2020, quando foram registradas 579 milhões de toneladas. É importante ressaltar que, desde 1970, as emissões do setor agropecuário saltaram 182%.

Ao se considerar apenas o total de emissões brutas, os setores de Agropecuária e Mudança de Uso da Terra representam 74% das emissões, das quais 25% correspondem à agropecuária. No entanto, quando se leva em conta a remoção de C atmosférico, principalmente pelas florestas, esse último setor representa redução das emissões líquidas, principalmente em função do desmatamento seguido de queimadas, como também foi observado no relatório do MCTI (Figura 1).

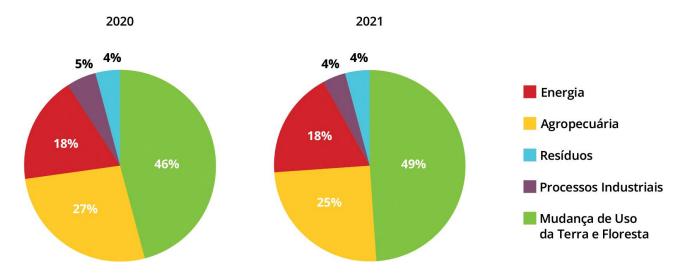
Segundo levantamento mais recente (SEEG, 2023), a pecuária, em especial a fermentação entérica, foi a principal fonte de emissões de gases representando 79,4% do total, o que equivale a 477 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq. Além disso, foi , também, a principal causa do aumento registrado no setor. Em 2021, o rebanho bovino cresceu 3,1% no Brasil, em decorrência da permanência

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Agriculture, Foestry and Other Land Use (Afolu).

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup>Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

de fêmeas para a produção de bezerros, assim como pela queda do número de abates. Somados, os rebanhos bovi-

nos de corte e de leite respondem por 93% das emissões da pecuária ou 444 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq.



**Figura 1 –** Participação dos setores no perfil das emissões brasileiras em 2020 e 2021. **Fonte:** SEEG (2023).

O ES, em 2016, apresentou 32.895 Gt de CO<sub>2</sub>-eq em emissões líquidas, considerando também o sequestro (remoção) de cada atividade. É importante destacar que, desse total, 14,2% correspondem ao setor agropecuário (Tabela 1).

**Tabela 1** – Dados de emissão líquida de CO<sub>2</sub>-eq por setor para o ES, de acordo com o MCTI (2021)

SETOR	Emissão líquida	% no Espírito Santo	% no Brasil
Energia	15.194	46,2	28,9
IPPU*	11.641	35,4	6,4
Resíduos	1.316	4,0	4,5
Agropecuário	4.683	14,2	33,2
LULUCF*	61	0,2	27,1

Fonte: MCTI (2021).

**Nota:** IPPU – Emissões de Processos Industriais e Uso de Produtos; LULUCF – Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas.

Analisando os dados do SEEG para o ES no ano de 2020, a contribuição na emissão bruta do Setor Afolu foi de 30%, dos quais 18% pertencem ao setor agropecuário e 12% ao Setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta.

No entanto, desmembrando os subsetores, o setor agropecuário representa cerca de 63% dos GEE emitidos, em função da fermentação entérica, quase que a totalidade advinda da pecuária de corte, e aproximadamente 33% em função do manejo dos solos, ou seja, os dois subsetores são responsáveis por aproximadamente 95% da emissão bruta do ES (Tabela 2).

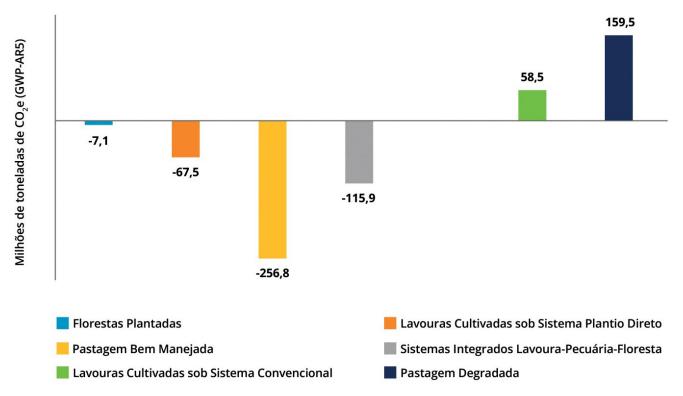
**Tabela 2 –** Contribuições dos subsetores da agropecuária, em 2020, na emissão de GEE no ES, de acordo com dados do SEEG (2021)

Categoria	Emissão de CO <sub>2</sub> -eq (toneladas)	Percentagem
Fermentação entérica	3.494.923	63,34%
Solos manejados	1.808.437	32,77%
Manejo de desejos animais	210.902	3,82%
Queima de resíduos agrícolas	3.137	0,06%
Cultivo de arroz	510	0,01%
Total	5.517.909	100,00

Fonte: SEEG (2021).

Quando se considera o uso da terra, observa-se que, os subsetores Florestas Nativas e Florestas Plantadas são os grandes sequestradores de  $\mathrm{CO}_2$  atmosférico. Dessa forma, ao se idealizar a neutralização das emissões de GEE na agropecuária, é imprescindível se considerar a adoção de sistemas integrados com florestas, priorizando tomadas de decisão que sejam pautadas na promoção de uma produção de baixas emissões.

Observa-se que a Pastagem Bem Manejada tem um grande potencial para fixar C, juntamente com Lavouras Cultivadas sob Sistema de Plantio Direto e Florestas Plantadas. Assim, ações para recuperação das áreas de pastagens e implantação de sistemas integrados são os caminhos para mitigação dos GEE na bovinocultura (Figura 2).



**Figura 2** – Balanço de emissões de C pelo solo do setor agropecuário brasileiro em 2021. **Fonte:** SEEG (2023).

Vale destacar que, no ES, iniciativas governamentais, como a elaboração do Plano Estadual de Mudanças Climáticas (que está em fase de elaboração) e o Plano ABC + do governo federal visam propor instrumentos para mitigação dos GEE nos setores (Energia, Transportes, Agropecuário, Mudança do Uso da Terra e Florestas, e Resíduos).

#### CICLO DO CARBONO

O C é o quarto elemento mais abundante do universo. Já na crosta terrestre, ele responde por cerca de 0,025% da massa de todos os elementos, destacando-se como o décimo sétimo mais abundante (Haynes, 2016). Apesar de não ser um elemento abundante, o C é amplamente distribuído no planeta e a sua capacidade em formar compostos com outros elementos faz com que ele esteja presente na formação de minerais bastante comuns, como a magnesita, a dolomita, o mármore e o calcário. O C ocorre principalmente na forma de  $\mathrm{CO}_2$  no ar e na água, compostos orgânicos dos organismos vivos e da matéria orgânica e, também, de carbonato  $(\mathrm{CO}_3^{-2})$  presente na água e nas rochas.

As quatro categorias de reservatórios de C de maior relevância na terra são: 1) **Litosfera**, que abarca as rochas

sedimentárias com C e os hidrocarbonetos, que são os combustíveis fósseis; 2) **Oceanos**, que contém quantidades substanciais de C, principalmente na forma inorgânica dissolvida em grandes profundidades e um menor volume que está presente próximo da superfície, onde tem trocas rápidas com a atmosfera; 3) **Ecossistemas terrestres**, que contém principalmente C orgânico na forma de plantas, animais e microrganismos; 4) **Atmosfera**, onde o C se encontra presente principalmente na forma de CO<sub>2</sub> e, em menor quantidade, de CH<sub>4</sub>.

O ciclo do carbono é representado pelos fluxos existentes entre os diferentes reservatórios e apresenta dois componentes: o ciclo lento e o ciclo rápido. No ciclo lento, o C leva entre 100 milhões e 200 milhões de anos para fluir entre as rochas, solo, oceano e atmosfera por meio de processos geológicos, através de reações químicas e atividades tectônicas. Em média, de 10 Tg a 100 Tg (109 Kg) de C se movem anualmente nesse ciclo.

O ciclo rápido, por sua vez, é aquele em que o fluxo do C entre os reservatórios pode ser medido no período de uma vida. Basicamente, o ciclo rápido corresponde ao movimento do C na biosfera, em que 1.000 Tg entre 100.000 Tg de C se movem anualmente entre os reservatórios. Os principais fluxos do ciclo rápido são: fotossíntese, respiração vegetal e animal, senescência, trocas entre o oceano e a atmosfera, consumo de combustíveis fósseis e mudanças de uso da terra.

O balanço de C tem mostrado um crescimento nas quantidades de C da atmosfera ao longo dos últimos séculos em virtude dos desbalanços nos ciclos do carbono, principalmente em função das atividades antropogênicas. Estima-se que anualmente são emitidos próximo de 50 petagrama ( $Pg = 10^{15}g$ ) de  $CO_2$ -eq em excesso e que a cada 3,7 exagrama ( $Eg = 10^{18}g$ ) de  $CO_2$  incorporados na atmosfera a temperatura média aumente em 1,8 °C.

# FORMAS DE EMISSÃO DE C NA PECUÁRIA

Segundo Gerber et al. (2013), os principais gases emitidos pelas cadeias produtivas da pecuária são o  $\mathrm{CH_4}(43,8\%)$  das emissões), o  $\mathrm{N_2O}(29,3\%)$  das emissões) e o  $\mathrm{CO_2}(26,9\%)$  das emissões). Ainda de acordo com FAO (2016) e Grossi et al. (2019), as principais fontes de emissão de  $\mathrm{CH_4}$  são a fermentação entérica derivada da digestão dos ruminan-

tes (39,1%) e o manejo de dejetos (4,3%). As principais fontes de N<sub>2</sub>O são provenientes do manejo de dejetos (5,2%), da deposição e aplicação de esterco (16,4%) e da adubação nitrogenada e decomposição dos restos culturais (7,7%). Já a principais fontes de CO<sub>2</sub> são o processamento (2,9%), uso de energia (1,8%) e a produção de alimentos (22,6%). Assim, das emissões totais das cadeias produtivas da pecuária, aquelas associadas aos processos para produção de alimentos dentro e fora da fazenda correspondem a 46,7%, a fermentação entérica a 39,1%, o manejo de dejetos a 9,7% e o uso de energia a 4,7%.

# ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DE C NA PECUÁRIA

O potencial de adoção de uma determinada estratégia de mitigação depende do sistema de produção, dos objetivos do produtor, do nível tecnológico e das condições regionais ou locais, incluindo políticas, incentivos e barreiras.

As estratégias de mitigação podem ser combinadas e, com isso, apresentar efeitos aditivos maiores. Muitas delas ainda são objetos de estudo em pesquisas, com as avaliações feitas, na maioria, em animais confinados, o que torna ainda mais complexas a medição de GEE e as avaliações com animais a pasto.

As práticas mitigatórias para reduzir as emissões de GEE na pecuária são variadas e devem focar em fatores, tais como:

Melhoria dos índices produtivos e reprodutivos: a intensificação dos sistemas de produção animal deve estar alinhada com a sustentabilidade, em que o aumento da produção de alimentos ocorrerá em menores áreas disponíveis para o plantio e com a utilização mais eficiente de insumos. Como formas indiretas de reduzir a produção de CH<sub>4</sub> entérico, tem-se o uso de diversas práticas de produção e reprodução, como a seleção de animais mais eficientes, manejo adequado da nutrição, promoção do bem-estar, sanidade, etc. que promovam o aumento da produtividade por animal e por área com grande potencial mitigatório, uma vez que, para uma mesma quantidade de produto comercializado, menos recursos serão utilizados e menos GEE serão emitidos reduzindo, assim, a intensidade de emissões.

A intensidade de emissão equivale aos quilogramas (kg) de CO<sub>2</sub>-eq emitidos para produzir 1 kg de carcaça. Assim, à

medida que a produção do animal individual aumenta, a emissão de CH<sub>4</sub> com base no produto animal diminui (Beauchemin *et al.*, 2020; Beauchemin *et al.*, 2022). A adoção de sistemas de produção animal mais intensivos, como a terminação intensiva a pasto e confinamento, bem como o uso do melhoramento genético animal, reduzem a idade ao abate de animais de corte e antecipa a idade ao primeiro parto das fêmeas. Isso, por sua vez, contribui para a intensificação da produção de carne e leite gerando, dessa forma, emissão de CH<sub>4</sub> por quilograma de produto produzido até 30% menor, mesmo havendo um possível aumento nas emissões diárias de CH<sub>4</sub> (Berndt; Romero Solórzano; Sakamoto, 2013; Pickering *et al.*, 2015; Vaz *et al.*, 2020; Meo Filho *et al.*, 2022).

Entretanto, o aumento do consumo de ração e o uso de grãos são acompanhados pelo aumento das emissões de CO<sub>2</sub>-eq e N<sub>2</sub>O, provenientes do uso de combustíveis fósseis e fertilizantes nitrogenados na produção e fabricação de ração. Essas emissões também devem ser contabilizadas (Beauchemin *et al.*, 2022).

**Redução da fermentação entérica:** cerca de 95% do CH<sub>4</sub> produzido pelos animais ruminantes é emitido via eructação. Os 5% restantes são emitidos por meio da respiração e ânus (MCTI, 2020). O CH<sub>4</sub> produzido no rúmen é resultado da atividade da população de arqueas metanogênicas bem como de fungos e protozoários pertencentes ao domínio *Eukarya* (Oliveira *et al.*, 2016) que convertem hidrogênio (H<sub>2</sub>) e CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> (Wallace *et al.*, 2014).

A taxa de produção de CH<sub>4</sub> no rúmen depende particularmente da composição da dieta, sendo o tipo de carboidrato (celulose ou amido), proteína e lipídios os componentes que mais influenciam. Além disso, fatores fisiológicos, como o tempo de retenção da digesta no rúmen e características genéticas do animal também têm um papel significativo nesse processo (Sene *et al.*, 2019; Ku–Vera *et al.*, 2020). A produção de CH<sub>4</sub> representa uma perda energética no processo de fermentação dos alimentos de cerca de 12% da energia bruta ingerida (RUSSELL, 2002; Oliveira *et al.*, 2016).

A manipulação da dieta atua diretamente sobre a fermentação e opções como o uso de aditivos

alimentares, muitos ainda em fase de pesquisa, como taninos, óleos essenciais, adição de óleos e gorduras saturadas e insaturadas, ionóforos, nitrato, leveduras e probióticos (Grainger; Beauchemin, 2011; Berndt; Romero Solórzano; Sakamoto, 2013) vêm sendo empregados como alternativas para redução da produção de CH, entérico. Esses compostos agem afetando arqueas metanogênicas diretamente ou indiretamente rompendo a membrana dos protozoários do rúmen (Ku-Vera et al., 2020). O consumo e a digestibilidade da dieta ofertada ao rebanho influenciam na produção de CH, entérico. A emissão de CH, por unidade de matéria seca ingerida pode aumentar ou diminuir de acordo com o nível de ingestão, o que pode ser explicado por um maior turnover ruminal, levando a uma menor digestibilidade da massa ingerida. Assim, uma dieta balanceada, com alta digestibilidade, tem o potencial de reduzir substancialmente as emissões de CH, (Meo Filho et al., 2022).

Com relação ao uso de concentrado na dieta de bovinos, Hristov *et al.* (2013) relataram que a inclusão de alimentos concentrados na dieta de ruminantes tem potencial para redução de CH<sub>4</sub> entérico, particularmente quando a inclusão estiver acima de 35% a 40% da matéria seca. Segundo Gerber *et al.* (2013), a manipulação da dieta e os aditivos alimentares foram identificados como os principais caminhos para a mitigação da produção entérica de CH<sub>4</sub>. Estima–se que sua eficácia seja geralmente baixa considerando a média, mas pode ser substancialmente aumentada em termos de intensidade de emissão quando também resultam em maior eficiência alimentar e ganhos de produtividade.

Recuperação e manejo de pastagens: o manejo de pastagens, manutenção da fertilidade do solo por meio de calagem e adubação, ajuste da taxa de lotação, escolha adequada da espécie forrageira, dentre outras, são práticas essenciais para a manutenção de cobertura vegetal contínua e recuperação de pastagens degradadas, contribuindo para aumentar a quantidade de C armazenada no solo (Dias Filho, 2011; Oliveira et al., 2020; Meo Filho et al., 2022).

Enquanto as pastagens degradadas são as principais fontes de emissões do solo, as pastagens bem manejadas

são capazes de sequestrar quantidades de CO<sub>2</sub> (Almeida; Oliveira; Macedo, 2011; Rosendo; Rosa, 2012). Já Oliveira *et al.* (2020), avaliando a emissão de GEE em novilhos de corte em quatro sistemas de pastejo (pastagem irrigada com alta lotação, pastagem de sequeiro com alta taxa de lotação, pastagem de sequeiro com taxa de lotação média e pastagem degradada), observou que houve maior intensidade de emissão de GEE (kg CO<sub>2</sub>-eq/kg carcaça) para a pastagem degradada. Além disso, esse sistema apresentou uma maior necessidade de árvores a serem plantadas para mitigar os GEE, quando expresso em kg PV e kg carcaça.

Segundo Beauchemin *et al.* (2022), em sistemas pastoris, a digestibilidade pode ser melhorada otimizando o manejo do pastejo para diminuir a maturidade da forragem, aumentando a digestibilidade da matéria seca e o consumo e melhorando o desempenho animal.

O uso de pastagens consorciadas com leguminosas ou uso de bancos de proteínas podem contribuir para melhorar o desempenho animal e diminuir a intensidade de produção de CH<sub>4</sub>. A possibilidade de melhoria na dieta animal e a reciclagem de nutrientes resultam em maior produção por animal e por área. As leguminosas possuem maior teor de proteína bruta, melhor digestibilidade e menor teor de fibra do que as gramíneas tropicais, além de algumas possuírem compostos secundários, como taninos e saponinas, que têm ação sobre as metanogênicas. As leguminosas também têm potencial para aumentar o teor de nitrogênio no sistema solo/planta em ambiente consorciado com pastagem, fornecendo uma importante fonte de nitrogênio para as gramíneas e favorecendo o aumento da produtividade vegetal e animal, de forma a minimizar a emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, pois há redução de fertilizantes químicos nitrogenados (Ku-Vera et al., 2020; Rodrigues; Oliveira; Berndt, 2021). Entretanto, dificuldades, como disponibilidade de cultivares, custo e lentidão do estabelecimento e persistência do consórcio sob pastejo podem inviabilizar a adoção das leguminosas nos sistemas de produção animal (Hristov et al., 2013; Gerber et al., 2013; Rodrigues; Oliveira; Berndt, 2021).

**Manejo adequado de dejetos:** os dejetos também contribuem para as emissões de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O na pecuária. Segundo o IPCC (2006), 2% do nitrogênio presente na urina

de bovinos é emitido na forma de N<sub>2</sub>O para a atmosfera. Assim, a implementação de práticas de manejo eficazes, como a evitar a utilização de lagoas abertas e favorecer a digestão anaeróbia, juntamente com o retorno frequente dos dejetos para as áreas de pastagens e produção de alimentos, resulta na redução das emissões de GEE pelo sistema. Segundo Gerber *et al.* (2013), as emissões de CH<sub>4</sub> do esterco podem ser controladas de forma eficaz reduzindo a duração do armazenamento, garantindo condições aeróbicas ou capturando o biogás emitido em condições anaeróbicas.

Uso racional de adubos nitrogenados: segundo o IPCC (2006), 1% do nitrogênio aplicado no solo é emitido para a atmosfera na forma de N<sub>2</sub>O. Uma fração importante dos adubos nitrogenados, especialmente a ureia, que é aplicada nas pastagens e nas áreas de lavoura, emitem quantidades substanciais de N<sub>2</sub>O, um gás com potencial de aquecimento global 273 vezes maior do que o CO<sub>2</sub>. Assim, o uso racional de adubos nitrogenados, favorecendo fontes de nitrogênio que emitem menos N<sub>2</sub>O, como organominerais, uso desses fertilizantes em momentos de maior demanda pelas pastagens e culturas, uso de fertilizantes de liberação controlada e inoculantes bacterianos, muitos desses sendo avaliados em pastagens e com resultados variados, podem ser considerados como potencial colaboradores na redução das emissões de N<sub>2</sub>O (Pereira et al., 2009).

O uso de fertilizantes com alto teor de nitrogênio em pastagens pode aumentar a produção de forragem e sua digestibilidade, assim como o desempenho animal e, também, pode reduzir a produção de CH<sub>4</sub> entérico (Gerber *et al.*, 2013).

Uso de fontes renováveis de energia: apesar do Brasil possuir uma matriz energética mais limpa do que a média mundial, ainda existem ganhos que podem ser conquistados em termos de mitigação de GEE pelo meio de fontes renováveis de energia, como o uso de painéis solares ou de biodigestores, tanto para a geração de eletricidade quando para a produção do biometano que, potencialmente, pode ser usado como combustível na propriedade. Além disso, a ampliação no uso de biocombustíveis como o etanol e o biodiesel reduz as emissões diretas provocadas pela sua combustão, bem

37

como as indiretas, derivadas do processo de extração do petróleo, transporte, refino e produção do combustível.

Favorecimento da produção local de alimentos e o aproveitamento de subprodutos: no Brasil, uma fração importante da soja e do milho usados na produção animal é proveniente de áreas de fronteira agrícola e carregam consigo uma alta taxa de emissões de C derivada do desmatamento, que contribui para elevar a intensidade de emissões. Assim, a produção de alimentos para os animais dentro da propriedade e/ou a sua aquisição de áreas consolidadas (onde não ocorre desmatamento) reduz as emissões secundárias do sistema de produção. Além disso, subprodutos agroindustriais, como o resíduo úmido de cervejaria, a polpa cítrica, subprodutos das indústrias de milho e mandioca são alternativas de baixa intensidade de emissões que podem ser utilizadas na alimentação dos animais. Levando em consideração que é necessário aumentar a eficiência dos sistemas de produção animal, os subprodutos precisam ser incorporados em uma dieta balanceada de acordo com a categoria e produtividade animal, pois os ruminantes têm a capacidade de converter alimentos fibrosos inadequados para humanos em alimento de alto valor biológico como carne, leite, couro, etc. (Beauchemin et al., 2022).

#### SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO OPÇÃO PARA A MITIGAÇÃO DE GEE E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

O território capixaba está na área de ocorrência natural da Floresta Atlântica (Backes; Ircang, 2004), que originalmente cobria mais de 90% do seu território, enquanto o restante era ocupado por ecossistemas associados. Sucessivos ciclos econômicos foram reduzindo a floresta, transformando-a num conjunto de fragmentos (Lederman; Padovan, 2005). Segundo o MapBiomas (2021), o ES tem uma área de pastagens de 1,97 milhão de ha e, dessas pastagens, 21% encontram-se em estágio de degradação severa, representando mais de 410 mil ha. As áreas de pastagem com degradação moderada correspondem a 53% e aquelas sem degradação a 26%.

Segundo Martins (2009), a área degradada é aquela que, após sofrer um forte impacto em seus atributos

físicos, químicos ou biológicos, perdeu a capacidade de retornar naturalmente ao seu estado original ou a um equilíbrio dinâmico, ou seja, perdeu a sua resiliência. É uma área que não mais possui a capacidade de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa, banco de sementes, etc. A degradação de uma área pode ser resultado de diversas causas ou fatores. Complementarmente, Pires et al. (2018) definem área degradada onde há ocorrência de alterações negativas das propriedades físicas e químicas, devido a processos como a salinização, lixiviação, deposição ácida e a introdução de poluentes. Entretanto, Martins (2009) também destaca que, além da perda da capacidade de produção de alimentos, madeira e outros produtos e da perda ou redução drástica da biodiversidade, contaminação de cursos d'água e outros impactos ambientais, as áreas degradadas podem gerar também impactos visuais negativos que causam desconforto às pessoas (Figura 3).



**Figura 3 –** Pastagem degrada em Jerônimo Monteiro-ES – 09/08/2016.

Fonte: Acervo dos autores.

A recuperação de áreas degradadas tem por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente (Pires et al., 2018). Existem muitos modelos de recuperação de áreas degradadas disponíveis, sendo que o resultado de cada um deles é influenciado pelas variáveis ambientais que podem interferir no comportamento das espécies em um determinado sítio ou modelo. Diante disso, e como o ES tem uma grande

variação edafoclimática, nenhum deles será considerado ideal para todos os casos. Para a escolha do melhor modelo a ser adotado, os produtores rurais, juntamente com o técnico, devem avaliar qual o objetivo da recuperação (ambiental, social, econômica ou então os três juntos) e os recursos disponíveis que serão utilizados.

Os SAF (sistemas agroflorestais) constituem um modelo de recuperação de áreas que engloba os três pilares da sustentabilidade: ambiental, social e econômico. Eles consistem em um sistema sustentado no manejo da terra, podendo ser classificados em silviagrícolas, quando abrangem somente o consórcio de espécies arbóreas e culturas agrícolas; silvipastoris, quando o consórcio é entre espécies arbóreas e animais; e agrosilvipastoris que envolvem o consórcio de espécies arbóreas, culturas agrícolas e animais. Silva (2013), considera os SAF como sistemas completos por produzirem em um único espaço frutos, vegetais, animais, leguminosas, hortaliças, ervas medicinais, madeiras, resinas, óleos, borrachas, dentre outras mercadorias agrícolas.

Diversos benefícios ambientais, em escala local e global, têm sido atribuídos aos SAF. Dentre esses benefícios, destacam-se a conservação do solo e dos recursos hídricos, a promoção do sequestro de C e o aumento da biodiversidade. No Brasil e no mundo, diversas experiências sobre a utilização de leguminosas nos diferentes SAF já foram relatadas, e um dos exemplos que tem mostrado resultados satisfatórios é a arborização de pastagens (Silva et αl., 2007). Além da melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, a introdução do componente arbóreo nas pastagens proporciona ao animal maior conforto térmico por meio da disponibilidade de áreas sombreadas. Além disso, há interferência positiva na disponibilidade e valor nutritivo da forragem, além da geração de empregos, obtenção de produtos florestais madeireiros e/ou não madeireiros e serviços ambientais (Ribaski; Rakocevic, 2002).

A expansão dos sistemas silvipastoris, conduzida com base no planejamento integrado dos recursos da propriedade, pode atender, simultaneamente, aos objetivos de reduzir a pressão sobre a exploração das florestas nativas e viabilizar a recomposição de pastagens degradadas no imóvel rural, obedecendo aos dispositivos do Código Florestal e legislações complementares.

#### CRÉDITOS DE CARBONO

Um crédito de carbono é a representação de uma tonelada de C que deixou de ser emitida para a atmosfera contribuindo para a diminuição do efeito estufa. Os certificados de redução de emissões são documentos que atestam que determinado projeto reduziu a emissão de GEE por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), emitidos por uma organização credenciada. O MDL foi criado no Protocolo de Quioto, em 1997, para ajudar os países a cumprirem as suas metas de redução de emissões (Maciel; Coelho; Santos, 2009).

Atualmente, o crédito é comercializado no mercado regulado ou voluntário de C, de forma que aqueles países que não alcançaram metas de redução de gases consigam compensar as emissões por meio da compra dos créditos no mercado de C. Embora ainda pouco explorado no Brasil, a tendência é de crescimento desse mercado em pouco tempo.

Os créditos de carbono são um incentivo aos produtores para que possam adequar seus sistemas produtivos em consonância com o desenvolvimento sustentável, em que a presença de árvores é primordial para mitigação ou neutralização dos GEE da bovinocultura, contribuindo para a melhoria de renda do produtor através da comercialização deles e a garantia de segurança alimentar para as futuras gerações. Sendo assim, esse mercado emergente tem avançado e em pouco tempo será uma realidade nas propriedades de leite e corte.

#### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para impulsionar uma produção pecuária mais sustentável, ao mesmo tempo em que se busca reduzir a pressão por desmatamento para expansão de novas áreas de produção, de forma a contribuir com as metas climáticas e promover a remoção de C, é imprescindível fomentar a aplicação de boas práticas agropecuárias através da adoção de tecnologias de mitigação e adaptação.

Para tanto, é imperativo que haja inicialmente a conscientização e articulação dos órgãos municipais,

estaduais, setores produtivos e ONGs, para construção em conjunto e a implementação de políticas públicas que tornem efetiva a realização de ações reais de mitigação de GEE em todos os setores, mas especialmente na pecuária de corte e leite, que contribuem com a maior parte da emissão de gases dentro do setor agropecuário no ES, visando minimizar, neutralizar e gerar créditos de carbono nesses sistemas produtivos.

É necessário também o incentivo à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento de inovações tecnológicas visando validar os dados de mitigação de GEE da bovinocultura no estado, dentro das particularidades locais, a exemplo de experiências já realizadas em outras condições de campo, pois os resultados são variáveis em função de fatores como raça e seus cruzamentos, manejo animal e da alimentação, uso de aditivos, dentre outros. E, por fim, promover a capacitação de técnicos e agentes públicos e privados em tecnologias disponíveis para mitigação de GEE na agropecuária bem como o acompanhamento das propriedades que fizerem o uso dessas tecnologias, para a obtenção de melhores resultados e para que a redução dos GEE ocorra de forma concreta.

#### **CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES**

FIGUEIREDO, M. R. P. de. realizou o convite aos autores para elaborarem o texto; dividiu as partes a serem escritas por cada autor; definiu a estrutura, temas a serem abordados e título do artigo; escreveu a introdução, objetivos, parte da seção estratégias de mitigação de carbono na pecuária, crédito de carbono e conclusão; corrigiu as referências que faltavam; reduziu o tamanho do artigo para atender ao escopo da revista; e corrigiu o artigo após a avaliação dos consultores e, também, após a solicitação do Comitê Editorial da revista. PIROVANI, D. B. escreveu a parte do artigo referente aos inventários, ajudou na escolha do título e auxiliou na correção do artigo após avaliação dos consultores. BARROS, I. de. escreveu a parte relacionada ao ciclo do carbono, formas de emissão de carbono na pecuária e estratégias de mitigação da fermentação entérica. GODINHO, T. de O. escreveu a parte relativa aos sistemas agroflorestais como opção mitigação de GEE e para a recuperação de áreas degradadas.

#### **CONFLITO DE INTERESSES**

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. G. *et al.* Recuperação de pastagens degradadas e impactos da pecuária na emissão de gases de efeito estufa. *In:* INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE BREEDING, 3., nov. 2011, Bonito. **Anais** [...]. Bonito, MS: 2011.

AZEVEDO, T. et al. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Sci Data**, v. 5, n. 180045, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1038/sdata.2018.45. Acesso em: 24 ago. 2022.

BACKES, P.; IRCANG, B. **Mata Atlântica:** as árvores e a paisagem. Ed. Paisagem do Sul, 2004. 395 p.

BEAUCHEMIN, K. A. *et al.* Cinquenta anos de pesquisa em metanogênese ruminal: lições aprendidas e desafios futuros para mitigação. **Animal**, v. 14, supl. 1, p. s2–s16, 2020. DOI: https://doi.org/10.1017/S1751731119003100

BEAUCHEMIN, K. A. *et al.* Invited review: current enteric methane mitigation Options. **Journal of Dairy Science**, v. 105, ed. 12, p. 9297–9326, 2022. ISSN 0022–0302. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2022–22091

BERNDT, A.; ROMERO SOLÓRZANO, L. A.; SAKAMOTO, L. S. Pecuária de corte frente à emissão de gases de efeito estufa e estratégias diretas e indiretas para mitigar a emissão de metano. *In*: SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO DE RUMINANTES, 6., Nutrição de precisão para sistemas intensivos de produção de carne: alto desempenho e baixo impacto ambiental. **Anais** [...]. Botucatu: UNESP, 2013. p. 3–15.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens:** processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. rev. atual. e ampl. Belém, PA: 2011. 215 p.

FAO, (Food and Agriculture Organization of The United Nations). Livestock & climate change. Itália, Roma: FAO, 2016. 15 p. Disponível em: https://www.fao.org/3/i6345e/i6345e.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.

GERBER, P. J. et al. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. **Animal**, v. 7, supl. 2, p. 2020–234, 2013. ISSN 1751–7311. DOI: https://doi.org/10.1017/S1751731113000876

GRAINGER, C.; BEAUCHEMIN, K. A. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production?

Animal Feed Science and Technology, v. 166–167, p. 308–320, 2011.

GROSSI, G. et al. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 69–76, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1093/af/vfy034. Acesso em: 23 ago. 2022.

HAYNES, W. M. Abundance of elements in the earth's crust and in the sea. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**, ed. 97, p. 14–17, 2016.

HRISTOV, A. N. et al. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation Options. Journal of Animal Science, v. 91, ed. 11, p. 5095–5113, nov. 2013.

HEYLER, K. et al. Reducing dietary protein decreased the ammonia emitting potential of manure from commercial dairy farms. **Journal of Dairy Science**, 95 (Suppl. 2), 477.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Indicadores IBGE: Contas nacionais trimestrais; Indicadores de volume e valores correntes out.—dez. 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Contas\_Nacionais/Contas\_Nacionais\_Trimestrais/Fasciculo\_Indicadores\_IBGE/2020/pib-vol-val\_202004caderno.pdf. Acesso em: 9 out. 2023.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção da pecuária municipal 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021 Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\_2021\_v49\_br\_informativo.pdf. Acesso em: 29 maio 2023.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa da pecuária municipal 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados. Acesso em: 9 out. 2023.

IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). Emissions from Livestock and Manure Management. *In:* Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Agriculture, Forestry and Other land use**, v. 4, 2006. In: EGGLESTON H. S. et al. (ed.). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. Japão: IGES, 2006. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html. Acesso em: 21 ago. 2022.

KU-VERA, J. C. *et al.* Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 7, p. 584, 2020.

LEDERMAN, M. R.; PADOVAN, M. P. **Conservação da Mata Atlântica no Estado do Espírito Santo:** cobertura florestal e unidades de conservação. Vitória: IPEMA, 2005. 142 p.

MACIEL, C. V.; COELHO, A. R. G.; SANTOS, A. M. Crédito de carbono: comercialização e contabilização a partir de projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. **Revista de Informação Contábil**, v. 3, n. 1, p. 89–112, 2009.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. MapBiomas, 2021.Disponível em: https://plataforma.brasil.mapbiomas.org. Acesso em: 28 abr. 2023.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas:** ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviárias e de mineração. Viçosa: Aprenda Fácil, 2009. 270 p.

MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações). **Quarto inventário nacional de emissões e remoção antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília, 2020. 143 p. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial. Acesso em: 29 jun. 2023.

MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações). **Resultados do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa por Unidade Federativa**. Brasília: 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/livro\_digital\_5ed\_estimativas\_anuais.pdf. Acesso em: 24 ago. 2022.

MEO FILHO, P. et al. Sistemas intensificados de pastagem podem reduzir as emissões de metano entérico de bovinos de corte no Bioma Mata Atlântica? **Agronomy**, n. 12, p. 2738, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy12112738

SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa). OC – Observatório do Clima, Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa – **SEEG**, 2021. Disponível em: https://seeg.eco.br/. Acesso em: 24 ago. 2022.

SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa). OC – Observatório do Clima, Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa – **SEEG**, 2023. Disponível em: https://seeg.eco.br/. Acesso em: 29 abr. 2023.

OLIVEIRA, V. S.*et al.* Carboidratos fibrosos e não fibrosos na dieta de ruminantes e seus efeitos sobre a microbiota ruminal. **Vet. Not.**, Uberlândia, v. 22, n. 2, p. 1–19, jul/dez. 2016.

OLIVEIRA, P. P. A.; *et al.* Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture–based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome). **Animal**, v. 14, supl. 3, p. s427–s437, 2020.

PEREIRA, H. S. *et al.* Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 33, p. 1685–1694, 2009.

PIRES, P. de T. *et al.* **Dicionário de termos florestais**. Curitiba: FUPEF, 2018. 102 p.

PICKERING, N. K. *et al.* Genetic parameters for predicted methane production and laser methane detector measurements. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 11–20, 2015.

RIBASKI, J.; RAKOCEVIC, M. Disponibilidade e qualidade da forragem de braquiária (Brachyaria bryzantha) em um sistema silvipastoril com eucalipto (Eucalyptus citriodora) no Noroeste do Estado do Paraná. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais** [...]. Ilhéus: CEPLAC, 2002. CD–ROM.

RODRIGUES, P. H. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; BERNDT, A. Uso de leguminosas na dieta de ruminantes: adaptação às mudanças climáticas e mitigação da emissão de gases de efeito estufa. *In*: **Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal**. Pirassununga: 5D Editora, 2021. p.182–205.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 359–376, 2012.

RUSSELL, J. B. **Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 2002. p. 121.

SENE, G. A. de *at al.* Práticas estratégicas com vistas à mitigação dos gases do efeito estufa na produção de bovinos a pasto. *In*: RODRIGUÊS, P.; MAZZA, H. **Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal.** São Paulo: Editora 5D, 2019. p. 268–294. Disponível em: https:// www.researchgate.net/publication/337325398\_Novos\_Desafios\_da\_Pesquisa\_em\_Nutricao\_e\_Producao\_Animal/link/5dd2830ea6fdcc7e138a8e46/ download. Acesso em: 25 mar. 2022.

SILVA, G. T. A. *et al.* **O papel da fixação biológica de nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agroflorestais.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 36 p.

SILVA, D. P. da. SAF's: sistemas alternativos de produção. **Revista de Extensão e Estudos Rurais**, v. 2, p. 153–162, 2013.

VALADARES FILHO, S. C.; PINA, D. S. Fermentação ruminal. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. 2° ed. Jaboticabal, SP: Funep, 2011. cap. 6.

VAZ, R. Z. *et al.* Performance of calves born in different periods of the calving season in intensive beef cattle farming *Arq. Bras.* **Med. Vet. Zootec.**, v. 72, n. 5, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1678-4162-11883. Acesso em: 29 maio 2023.

WALLACE, R. J. et al. Archaeal abundance in post–mortem ruminal digesta may help predict methane emissions from beer cattle. **Scientific Reports**, v. 4, p. 1–8, 2014.

### ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL A PARTIR DA ADOÇÃO DE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉS ESPECIAIS

Patrícia Morais da Matta Campbell¹; Jean Gomes de Moraes²; Tássio da Silva de Souza³; Maria Catarine Pedroza Nunes⁴; Daniel Saraiva Lopes⁵; Bruno Campbell de Azevedo<sup>6</sup>

**Resumo** – A cada dia, o mercado consumidor tem se mostrado mais exigente quanto à qualidade dos alimentos. Com isso, muitos produtores têm se deparado com uma forte demanda por cafés especiais. Para obtenção desses cafés de qualidade superior, é de extrema necessidade a adequação das práticas agronômicas a fim de atender aos critérios de qualidade exigidos em protocolos de classificação e ambientais. O trabalho foi realizado em 30 propriedades que não produziam, até então, grãos especiais. Foram determinados em cada propriedade um talhão de 3.000 plantas. Definido o local, foi procedida à coleta de solo na camada 0–20 cm, para análise química e física. Os talhões foram acompanhados desde os tratos culturais até a secagem dos grãos. Foi realizada a análise sensorial de todos os lotes de cafés. Posteriormente, foi realizada a avaliação do impacto ambiental, por meio do Sistema de Avaliação do Impacto Ambiental de Inovações Tecnológicas Agropecuárias. Vinte e três propriedades conseguiram produzir pelo menos um lote de cafés especiais. O índice de impacto ambiental se mostrou positivo para 29 propriedades, com valor acima de 1, e média de 1,55, com inferências positivas, principalmente nos atributos: uso de agroquímicos, conservação ambiental e recuperação ambiental das propriedades avaliadas.

Palavras-chaves: Impacto Ambiental. Cafés Especiais. Sustentabilidade.

## ENVIRONMENTAL IMPACT INDEX BASED ON THE ADOPTION OF SPECIALTY COFFEE PRODUCTION TECHNIQUES

**Abstract** – Every day, the consumer market has been more demanding food quality. As a result, many producers are facing a strong demand for specialty coffees. To obtain these superior-quality coffees, one needs to adapt agronomic practices to meet the quality criteria required in classification and environmental protocols. We carried out a work on 30 properties that had not produced special grains until then. We determined a plot of 3,000 plants in each property. Once we had chosen the location, soil was collected in the 0–20 cm layer for chemical and physical analysis. The plots were monitored from the cultural treatments to the drying of the grains. We carried out a sensory analysis on all coffee lots. Subsequently, the environmental impact was assessed using the System for Assessing the Environmental Impact of Agricultural Technological Innovations. Twenty-three producers managed to produce at least one batch of specialty coffees. The environmental impact index was positive for 29 properties, with a value above 1, and an average of 1.55, with positive inferences mainly in the following attributes: use of agrochemicals, environmental conservation, and environmental recovery. Therefore, we concluded that the production technology for specialty coffee has effectively improved the environmental performance of the properties evaluated.

Keywords: Environmental Impact. Specialty Coffees. Sustainability.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>D.Sc. Ciências Ambientais e Florestais, Extensionista Incaper, patricia.campbell@incaper.es.gov.br

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> M.Sc. Produção Vegetal, Extensionista Incaper

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> M.Sc. Agroecologia, Extensionista Incaper

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Graduanda em Medicina Veterinária, Bolsista Fapes

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia de Alimentos (Ital)

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> M.Sc. Agroecologia, Fiscal Idaf

#### **INTRODUÇÃO**

O café é classificado comercialmente como uma commodity agrícola, com destaque em transações internacionais, bem como na oferta nacional, em termos de quantidade e valor. Os principais fornecedores estão localizados nos países em desenvolvimento (Lima et al., 2020), e tal grão é um produto de extrema importância para a economia brasileira. O Brasil é o maior produtor e exportador de café no mundo, além de ser o segundo maior consumidor. A cultura ocupa, no país, uma área de 2 milhões de hectares (ha), com aproximadamente 300 mil produtores que são, em sua maioria, agricultores familiares (Mapa, 2017).

Os produtores estão distribuídos em 1.900 municípios localizados nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Bahia, Rondônia, Paraná, Rio de Janeiro, Goiás, Mato Grosso, Amazonas e Pará (Mapa, 2017). Nessas regiões, as espécies cultivadas são *Coffea arábica* e *Coffea canephora*. O Espírito Santo, por sua vez, destaca-se como o segundo maior produtor brasileiro de café. A cultura é a principal fonte de renda de 80% dos municípios capixabas, envolvendo aproximadamente 130 mil famílias (Ferrão *et al.*, 2017), que possuem propriedades predominantemente pequenas, de área média de 5 ha a 6 ha (Conab, 2019).

No que diz respeito à cadeia dos cafés especiais, desde a década de 1990, a ascensão do movimento do café especial criou um segmento importante para o mercado cafeeiro. Os consumidores procuram marcas, origens e sabores especiais e estão dispostos a pagar preços mais altos por essas qualidades, o que leva ao surgimento de um novo nicho de mercado (Dias et al., 2018). Em geral, os consumidores estão dispostos a consumir independentemente da volatilidade dos preços, que é um fenômeno comum no mercado do café (Lima et al., 2020).

No Brasil, os critérios utilizados para classificar os grãos de café incluem aspectos físicos, como tamanho, cor e presença de defeitos nos grãos, além das características sensoriais da própria bebida. A presença de grãos defeituosos durante o processamento e torrefação contribui para os sabores desagradáveis e reduzem a qualidade geral do copo (Casas et al., 2017). Apesar dos aspectos físicos, o critério de qualidade mais importante usado para avaliar os cafés arábicas brasileiros

é a degustação ou classificação por tipo de bebida (Ribeiro et al., 2012).

São muitos os aspectos que interferem na produção de um café de qualidade superior, tanto fatores externos, como a umidade, índices pluviométricos e tipo de solo, quanto o manejo aplicado. Lazzarini e Moraes (1958) já mostravam que processos de colheita e pós-colheita adequados são fundamentais para a obtenção de uma bebida de boa qualidade. Pereira et al. (2020) ressaltam que as interações entre fatores edafoclimáticos, formas de processamento, secagem, armazenamento e torrefação afetam diretamente os resultados sensoriais.

DonFrancesco, Guzman e Chambers (2019) corroboram que as propriedades sensoriais do café dependem de vários fatores, como as espécies/variedades cultivadas, o processamento após a fase de colheita, a origem geográfica e os fatores climáticos, ainda sugerem que o impacto dos microclimas é crítico para as propriedades sensoriais do café. Os defeitos ocorrem devido a efeitos genéticos ou fisiológicos; ou por falhas em processos agrícolas, como fertilização, problemas com pragas e doenças, além de danos causados por secas e geadas; ou outros processos, como descascamento, secagem, armazenamento e processamento (Oliveira et al., 2006).

Os defeitos mais comuns do café, produzidos por colheita tardia ou precoce ou por fermentação de grãos em contato com o solo, são os grãos azedos, pretos e imaturos; os dois primeiros, particularmente, estão relacionados a uma forte redução na qualidade sensorial (Dias et al., 2018). A colheita de grãos fora do ponto de maturação, como os grãos verdes ou de grãos caídos no chão, denominado café de varrição, também originam um produto qualidade inferior, pois apresentam menor peso e defeitos, como grãos verdes, ardidos e pretos (Azevedo, 2019).

Além dessas variáveis, Tripetch e Borompichaichartkul (2019) apontam que as condições e o tempo de armazenamento dos grãos de café são muito importantes para a qualidade comercial do café. Isso inclui fatores como luz, umidade e temperatura no armazém e, também, o material de embalagem usado.

Dessa forma, percebe-se que grande parte dos aspectos que interferem na qualidade final do café

produzido podem ser manejados na propriedade através de boa fertilização, correção do solo, controle de pragas e doenças, colheita do fruto no ponto de maturação ideal e no pano, separação de grão boia, uso de despolpadores, secagem em condições mais adequadas e controle da umidade. Estudos, inclusive, sugerem que o manejo da cultura e os ambientes de crescimento são determinantes mais importantes da qualidade da bebida do que os fatores genéticos (Bote; Vos, 2017; Toledo *et al.*, 2016).

No Espírito Santo, as regiões que se destacam na produção de café arábica com mão de obra predominantemente familiar são a Região do Caparaó capixaba, que é composta por 11 municípios, e a Região Sul do estado, composta por 16 municípios.

A produção de cafés especiais provenientes do Caparaó capixaba é uma realidade atual que traz grande retorno econômico ao produtor (Krohling *et al.*, 2019). Porém, parte dos municípios inseridos nessa região e na Região Sul do Espírito Santo, possuem poucos ou nenhum produtor envolvido na cadeia dos cafés especiais, fazendo com que essa parcela de municípios fique deficitário nesse quesito, já que o consumo desses cafés é uma tendência mundial.

Diante disso, buscou-se selecionar 30 propriedades localizadas em municípios dessas duas regiões para a implementação da tecnologia de produção de cafés especiais. Os municípios foram Alegre, Apiacá, Bom Jesus do Norte, Mimoso do Sul, Muqui e São José do Calçado.

Sendo assim, a baixa inserção de produtores dos referidos municípios nessa cadeia, a baixa produtividade das lavouras, e os equívocos cometidos na colheita e pós—colheita do fruto, convergem para a necessidade de uma assistência técnica de qualidade nessas propriedades.

Essa tecnologia irá gerar impactos nos diferentes segmentos da cadeia de sustentabilidade, dentre eles, a ambiental. A sustentabilidade, fundamentada no tripé ambiental, econômico e social, preconiza a adoção de boas práticas de colheita, pós-colheita e produção, de forma a conciliar a preservação ambiental com resultados econômicos satisfatórios e melhoria da qualidade de vida no meio rural (De Muner, 2012).

Objetiva-se que as unidades produtivas atinjam progressivamente patamares de sustentabilidade mais elevados, o que fará com que se obtenha impactos diretos

na melhoria da produtividade e qualidade da bebida, com consequente redução dos riscos socioambientais (Tristão *et al.*, 2019).

Como exemplo da necessidade de tecnologias que impactem positivamente o quesito ambiental nas propriedades, associações, como a Associação Brasileira da Indústria de Café (Abic), têm criado iniciativas que fomentem o consumo consciente de produtos de origem sustentável, como o Programa Cafés Sustentáveis do Brasil, em que cafés com esse selo possuem mais de 60% do blend para cafés superiores/gourmets provenientes de produtores sustentáveis, e alguns dos objetivos são a redução dos impactos ambientais, efeitos das mudanças climáticas e perda da biodiversidade (Tristão et al., 2019).

Segundo Bregagnoli e Ribeiro Neto (2017), o aumento da requisição por lotes de café produzidos de forma responsável é um movimento crescente e irreversível, o que proporciona ao produtor, principalmente aos pequenos, agregação de valor ao seu produto e à sua propriedade. Os padrões de sustentabilidade cobrem uma área de produção cada vez maior e envolvem um número crescente de agricultores em todo o mundo, além de aumentar as expectativas dos consumidores sobre as implicações econômicas, éticas e ambientais da produção e comércio de alimentos (Vanderhaegen et al., 2018).

Outro ponto importante, é relativo ao uso indiscriminado de agrotóxicos nas propriedades, que ratifica a necessidade da avaliação ambiental, pois, até o momento, sabe-se que não há testes laboratoriais de presença de agrotóxicos na Região Sul do Estado do Espírito Santo (Queiroz et al., 2018) ou Caparaó, visto que, embora a legislação brasileira estabeleça limites para concentrações permissíveis de agrotóxicos na água destinada ao consumo humano, as concessionárias brasileiras de água e esgoto não são obrigadas a realizar tais análises (Brasil, 2003).

Evidências científicas mostram que esses produtos podem causar danos muitas vezes irreversíveis ao ser humano (Bolognesi, 2003; Salvagni; Ternus; Fuentefria, 2010). Além disso, promover impactos ambientais positivos nesse quesito levam à diminuição do uso desses produtos, assim como da frequência de aplicação e da toxicidade dos ingredientes ativos, que leva a reduzir os riscos para o ser humano e o ambiente.

Considerando a importância de todo esse processo, este estudo objetivou avaliar o índice de impacto ambiental gerado em 30 propriedades, localizadas na Região Sul do estado e Caparaó capixaba, após a implantação da tecnologia de produção de cafés especiais.

#### **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado no ano safra 2021/2022, em 30 propriedades localizadas nos municípios de Alegre, Apiacá, Bom Jesus do Norte, Mimoso do Sul, Muqui e São José do Calçado (Figura 1).

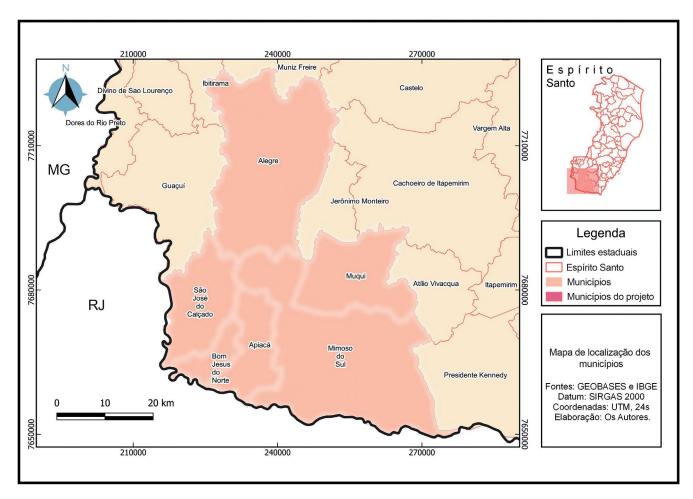


Figura 1 - Mapa de localização dos municípios.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Foram determinados em cada propriedade um talhão contendo 3.000 pés de café arábica, e foram selecionadas cinco propriedades por município. Nos municípios tipicamente produtores de café conilon, foram, excepcionalmente, escolhidas lavouras dessa mesma espécie (Tabela 1).

**Tabela 1 –** Lista de espécies de café utilizadas em cada município

Município	Espécie		
Alegre	Coffea arabica Coffea arabica Coffea arabica e Coffea canephora		
Apiacá			
Bom Jesus do Norte			
Mimoso do Sul	Coffea arabica		
Muqui	Coffea canephora		
São José do Calçado	Coffea arabica		

Definido o local, foi procedida a coleta de solo na camada 0–20 cm, para ser submetida à análise química. De posse dos resultados, foram calculadas para cada lavoura a dosagem de calcário e fertilizantes. A correção do solo foi feita em uma única dose anual, enquanto os fertilizantes foram parcelados em três aplicações de NPK e micronutrientes, e uma de superfosfato simples, conforme a necessidade da lavoura.

Concomitantemente, foi realizada a confecção de armadilhas para broca-do-café utilizando-se de garrafas PET, confeccionadas conforme Fernandes *et al.* (2014). As garrafas foram fixadas nas lavouras a 1,5 m do chão, na densidade de 25 armadilhas por hectare. Todo manejo da

lavoura foi realizado com base em práticas sustentáveis, como manutenção de cobertura vegetal nas entrelinhas, através da roçada, construção de caixas-secas, quando necessário, e manejo integrado de pragas e doenças.

A colheita foi realizada no pano ou na peneira de forma seletiva. A secagem foi realizada em terreiro suspenso de 30 m² (10 x 3 m), construído em cada uma das propriedades assistidas, adaptado de Ifes (2018) (Figura 2). Antes da secagem, os grãos foram submetidos à separação do boia e cereja. Os processos utilizados foram natural e cereja descascado, com utilização de um despolpador Palini e Alves, modelo PA-DCC/MM, que não utiliza água durante o processo.



Figura 2 – Modelo de terreiro suspenso construído em 30 propriedades, no Sul e Caparaó capixaba, para produção de cafés especiais.

Fonte: Acervo dos autores.

O teor de umidade foi acompanhado periodicamente com uso de medidor de umidade portátil, para que os grãos atingissem o ponto de umidade adequado para armazenamento (11% a 12%). E o controle da temperatura, para que não fosse ultrapassada temperaturas superiores a 40 °C, foi realizado com termômetro digital com mira a laser. Após a secagem, os grãos foram armazenados em local fechado, ventilado e em sacarias adequadas.

Após todo esse processo, os grãos foram submetidos à análise sensorial. Tal análise consiste no preparo inicial da amostra com torra de leve a média intensidade, com posterior resfriamento até a temperatura ambiente e acondicionamento em recipiente fechados pelo período mínimo de 8 horas.

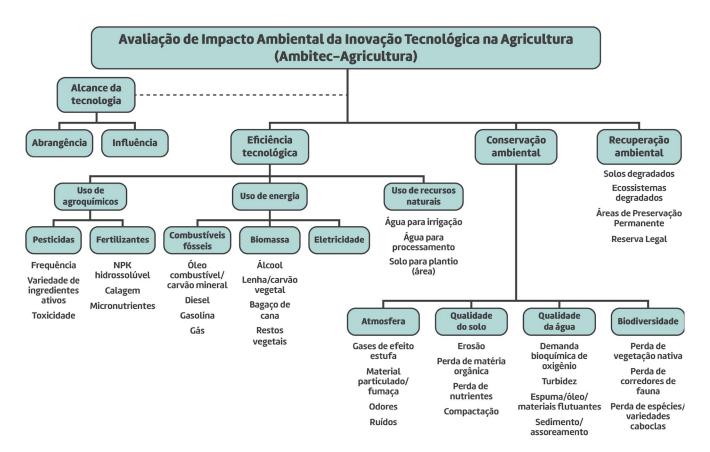
Para degustação, as amostras foram preparadas na concentração de 5,5% m/v, na qual a água, com

temperatura de aproximadamente 93 °C, foi adicionada em movimentos circulares. Após adicionada a água, as amostras permaneceram em repouso por 4 minutos e foram, então, provadas.

O teste de xícara foi realizado por provadores com certificação *Q Grader*, certificados pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). Cada provador atribuiu notas individuais para os quesitos avaliados, que incluem fragrância/aroma, sabor, finalização, acidez, corpo, uniformidade, balanço, xícara limpa, doçura, pontos e defeitos. Após a avaliação, o café foi classificado qualitativamente a partir da pontuação recebida: acima de 80 foi classificado como café especial; entre 70 a 79, como café comercial fino; entre 60 a 69, como café comercial; e abaixo de 60, como café inferior.

Após toda metodologia de produção implementada, foi realizada a avaliação do impacto ambiental, ou seja, procurou-se entender se essa tecnologia de produção impactou positivamente, negativamente ou não trouxe impacto no índice de impacto ambiental.

Para obter tal índice, aplicou-se o Sistema de Avaliação do Impacto Ambiental de Inovações Tecnológicas Agropecuárias (Ambitec-Agro), desenvolvido por Rodrigues (2008). Essa forma de avaliação consiste em módulos integrados de indicadores de desempenho ambiental para os setores produtivos rurais da agricultura. São considerados quatro aspectos de contribuição (alcance, eficiência, conservação e recuperação ambiental) expressos por 37 componentes (Figura 3).



**Figura 3 –** Aspectos e indicadores para a avaliação de impacto social da inovação tecnológica (Ambitec-Social). **Fonte:** Rodrigues (2008).

Os quesitos foram avaliados por meio da análise dos técnicos conjuntamente com agricultores, em todas as propriedades, considerando todos os quesitos (Rodrigues, 2008). Posteriormente, foi realizada a interpretação desse índice e indicação de alternativas de manejo e de tecnologias que permitam minimizar os impactos negativos e potencializar os impactos positivos, de modo a contribuir para o desenvolvimento local sustentável.

#### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Tabela 2 mostra as pontuações máximas de lotes de café, obtidas nas 30 propriedades estudadas. Dessas, 23 conseguiram produzir, pelo menos, um lote classificado como especial, com nota superior a 80. Enquanto outras duas produziram lotes classificados como bebida dura, que são aqueles que possuem principalmente frutos ver-

des e/ou imaturos, porém não possuem defeitos. Outras cinco, produziram apenas cafés bebida rio (Brasil, 2003).

As maiores notas foram 86 e 85,5, nos municípios de São José do Calçado e Muqui, respectivamente. Enquanto as menores notas para os cafés especiais foram de 80 pontos. Muitos produtores não conseguiram atingir notas mais altas devido à uma chuva de granizo que atingiu as lavouras no início de 2021. Isso fez com que os frutos ficassem visualmente no ponto de colheita, entretanto, fisiologicamente apresentassem compostos que davam aspecto de grãos imaturos na xícara, devido à maturação forçada, decorrente da intempérie climática.

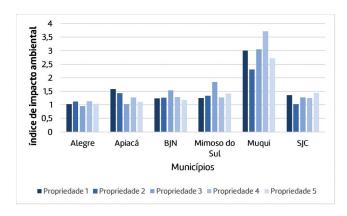
Esses resultados foram obtidos devido à uma série de cuidados, desde a nutrição da lavoura, a colheita seletiva e, sobretudo, a pós-colheita, não deixando que os grãos perdessem qualidade, após colhidos no ponto ideal de maturação.

Tabela 2 - Pontuações máximas de lotes de café obtidas nas 30 propriedades estudadas

	Local	Pontuação máxima	Altitude (m)		Local	Pontuação máxima	Altitude (m)
1		86,00	870	16		83,75	610
2		82,50	770	17		80,25	640
3	São José do Calçado	80,25	760	18	Bom Jesus do Norte	80,00	620
4		82,75	980	19		80,00	600
5		80,75	830	20		Bebida rio	600
6		84,50	730	21		80,50	720
7		80,00	730	22		80,25	615
8	Alegre	82,50	750	23	Mimoso	80,00	750
9		80,25	660	24		Bebida rio	780
10		83,50	740	25		Bebida rio	770
11		80,50	880	26		85,50	450
12	Apiacá	80,00	715	27	Muqui	80,25	700
13		Bebida dura	820	28		83,25	850
14		Bebida rio	835	29		80,00	420
15		Bebida rio	760	30		Bebida dura	420

Fonte: Elaborada pelos autores.

O índice de impacto ambiental mostrou que em todos os municípios houve impacto positivo da implementação da tecnologia, dado o valor superior a 1 do indicador (Figura 4). O município onde houve maior impacto foi Muqui e o menor Alegre, sendo este o único cujo uma propriedade apresentou valor menor que 1 para o índice.



**Figura 4** – Índice de impacto ambiental obtido pelas 30 propriedades participantes do estudo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Esse impacto positivo pode ser atribuído sobretudo à diminuição do uso de defensivos agrícolas, principalmente no quesito frequência, seguido de toxicidade e, por último, variedade de ingredientes ativos. Acredita-se que dois terços da população mundial esteja exposta aos malefícios dos pesticidas, seja pela atividade laboral ou pelo consumo de alimentos contaminados (Stehle; Schulz, 2015). Mesmo em pequenas quantidades, esses produtos representam risco à saúde humana e ao meio ambiente, devido à sua mobilidade e persistência (Bozzo *et al.*, 2013; Shuai; Chen; Ray, 2011).

A diminuição no uso de defensivos agrícolas se deu principalmente devido ao manejo integrado, que inseriu nas propriedades práticas alternativas ao uso dos defensivos, tais como armadilhas para broca-do-café e realização de roçada. As armadilhas permitiram que os produtores percebessem que não era necessária a aplicação de agrotóxicos, visto que o nível de infestação não atingia o dano econômico. A roçada evitou o uso de herbicidas, muitas vezes aplicado de forma indiscriminada para controle do mato.

O uso de fertilizantes e calcário também apresentou grande impacto, visto que a aplicação, feita com base na análise de solo, permitiu o uso inteligente desses produtos, diminuindo quantidades e aumentando a eficiência ao proporcionar à planta o que ela de fato estava a requerer.

Além disso, o uso de despolpador a seco permitiu a economia de água durante o processo de descascamento do café. Campos *et al.* (2021) afirmam que o consumo

para lavagem e separação do café varia de 0,1 L a 0,3 L de água por litro de fruta, enquanto no descascamento e/ou despolpa, o consumo é de 3 L a 5 L de água por litro de fruta, ou seja, tal despolpador gera grande ganho na economia de água na propriedade.

De acordo com Galanakis (2017), a água de lavagem do café, quando lançada em corpos d'água receptivos, forma rapidamente zonas anóxicas como resultado de sua estabilização anaeróbica, gerando, como subprodutos da degradação da matéria orgânica, metano, fenóis e sulfeto de hidrogênio, que emitem odores desagradáveis, além da possibilidade de eutrofização (Campos *et al.* 2021).

Não houve identificação de mudança que causasse impacto na irrigação, visto que, majoritariamente, as lavouras estudadas não são irrigadas. Entretanto, é importante ressaltar que o uso insustentável da água de irrigação é um dos problemas ambientais mais graves na cafeicultura. Espera-se que a rápida expansão das certificações de sustentabilidade e a adoção de tecnologias avançadas de irrigação promovam um uso mais sustentável da água, por meio de mudanças nas práticas de gestão hídrica na cafeicultura (Ho et al., 2022).

O aumento da produtividade, proporcionado pela adubação, manejo integrado de pragas e doenças, além de adequações pontuais em cada propriedade, fizeram com que o produtor desistisse de explorar novas áreas de plantio, sobretudo aquelas que pudessem envolver desmatamento. De acordo com Gatti et al. (2022), a perda de vegetação nativa para a cafeicultura é uma ameaça persistente à biodiversidade. Citam ainda que o cultivo de café leva cada vez mais à perda de biodiversidade nas regiões tropicais montanhosas, por meio da expansão para florestas intactas e remoção de árvores de sombra para criar monoculturas intensificadas de café. Como resultado, a cobertura de árvores nativas diminuiu mais de 70% nas regiões cafeeiras durante os últimos 20 anos, apesar do alto potencial de produção e qualidade do café cultivado à sombra (Jha et al., 2014), por exemplo.

A consciência ambiental também foi despertada em muitas propriedades, que passaram a aderir ao Cadastro Ambiental Rural (CAR), que resultou na preservação de suas áreas de reserva legal (quando cabível) e de preservação permanente com efeito positivo na conservação da biodiversidade. Isso é de grande importância, uma vez que a expansão de *commodities* agrícolas tropicais, como o café, tem sido vista como uma das maiores ameaças à biodiversidade (Lenzen *et al.*, 2012; Donald, 2004).

Segundo Zeweld et al. (2017), práticas agrícolas sustentáveis podem melhorar a biodiversidade e reduzir insumos prejudiciais ao meio ambiente, enquanto mantêm a competitividade e a viabilidade econômica. Alguns exemplos de agricultura sustentável incluem abordagens que envolvem a mudança de um componente (por exemplo, manejo integrado de pragas, uso de composto e esterco), redução ou integração com outros sistemas (integração de gado com culturas, consórcio), ou uma mudança mais sistêmica (agricultura orgânica e agroecologia) (Knickel et al., 2017).

O uso de técnicas de manejo e conservação do solo, inerentes à produção sustentável de cafés especiais, como a abertura de caixas-secas, diminuição do uso de herbicidas e capinas, aumento das roçadas e colheita seletiva sem arruação da lavoura, levaram à percepção da melhoria de solos em processo de degradação, principalmente no que tange à perda de matéria orgânica e nutrientes. Com a diminuição desses fatores, pontualmente em alguns locais, foi possível perceber a redução na turbidez e assoreamento de pequenos cursos d'água.

Com intuito de aumentar a preservação da matéria orgânica e melhorar, consequentemente, a conservação ambiental das propriedades trabalhadas, houve destinação das cascas do café, após o despolpamento e/ou descascamento, nas próprias lavouras, como fonte de nutrientes e matéria orgânica, o que é importante, visto que, com a perspectiva de que o café chegará a um ambiente totalmente sustentável, deve-se notar os subprodutos que não receberam tanta popularidade para serem reaproveitados (Campos *et al.*, 2021).

De acordo com Lopes et al. (2014), os produtores que instalaram máquinas de beneficiamento em suas propriedades, visando produzir grãos de café mais finos ou de melhor qualidade, passaram a enfrentar problemas ambientais adversos, uma vez que os resíduos gerados no processo de beneficiamento causaram grandes volumes de efluentes, cascas e polpas úmidas.

A redução dos impactos negativos e aumento daqueles positivos, permite que o produtor de café, principalmente o de cafés especiais, possa certificar seu café, como, por exemplo, orgânico, Fairtrade, Rainforest, Utz Certified, entre outros. Isso se torna interessante, visto que tais certificações podem agregar valor ao café comercializado. Em 2018, cerca de 8% da área mundial plantada de culturas especiais foram certificadas com pelo menos um padrão de produção (Gatti *et al.*, 2022).

Os padrões de sustentabilidade diferem nos aspectos que enfatizam (Milder et al., 2014), mas, em geral, todos eles buscam reduzir ou eliminar fatores ambientais e sociais negativos (Haggar et al., 2017). Cada padrão tem sua própria maneira de avaliar a conformidade. Em geral, há um número limitado de práticas proibidas, por exemplo, o uso de agroquímicos sintéticos no cultivo orgânico, sem desmatamento sob Rainforest Alliance. Além disso, uma certa porcentagem de critérios ambientais e sociais precisam ser atendidos. (HAGGAR, et al., 2017).

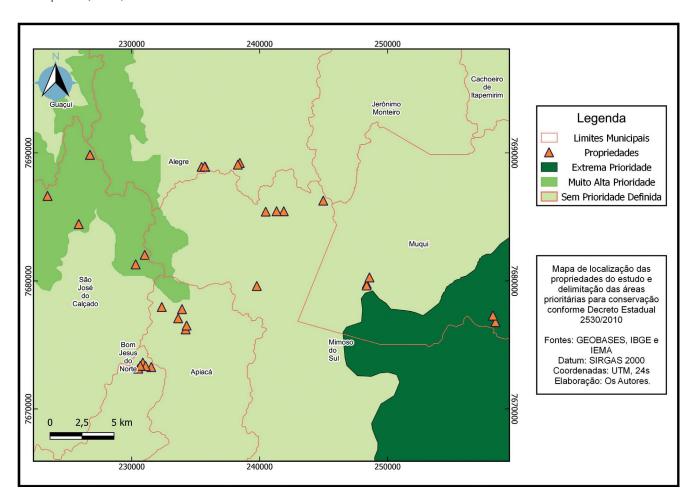
Não houve percepção na alteração de fatores relacionados à fumaça, ruídos, odores e gases de efeito estufa. A tecnologia também não afetou diretamente o uso da energia. É importante ressaltar que, apesar dessa tecnologia aplicada não ter influenciado diretamente nesses fatores, destaca-se a necessidade de aumentar a percepção e conscientização dos agricultores sobre o clima para promover a adoção de práticas agrícolas sustentáveis (Nguyen; Drakou, 2021). Além disso, o uso de terreiros suspensos, que utilizam apenas sol e vento para efetuar a secagem, é positivo em relação ao uso de secadores que demandam grande quantidade de lenha como combustível, que muitas vezes advém de zonas de preservação ou reservas legais, além de gerarem fumaça, ruídos e terem custo elevado.

De acordo com Cohn *et al.* (2017), os pequenos agricultores, que possuem áreas agrícolas menor que 2 ha, estão entre os mais vulneráveis às mudanças climáticas. Isso porque suas propriedades estão localizadas principalmente em regiões diretamente afetadas pelas mudanças climáticas, em países de baixa e média renda, onde a agricultura familiar ocupa 85% das terras agrícolas em todo o mundo (Samberg *et al.*, 2016). A agricultura familiar é responsável por mais da metade das calorias globais

dos alimentos consumidos (Samberg *et al.*, 2016), sendo que a agricultura sustentável desempenha um papel vital na adaptação às mudanças climáticas, bem como no alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável (FAO, 2016).

No entanto, apesar da eficácia documentada da agricultura sustentável na adaptação às mudanças climáticas, a adoção dessas práticas não tem sido alta (Zeweld *et al.*, 2017). As barreiras de adoção relatadas vão desde o nível de percepção dos agricultores (FAO, 2014) até o apoio em nível institucional (Bravo-Monroy; Potts; Tzanopoulos, 2016).

A Figura 5 mostra a localização das 30 propriedades dentro de cada município sob a ótica do Decreto nº 2530-R, de 02 de junho de 2010 (Espírito Santo, 2010), que identifica áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no Estado do Espírito Santo. Todas as propriedades de São José do Calçado estão localizadas em uma área de muito alta prioridade, enquanto, em Muqui, duas propriedades se encontram em área de extrema prioridade. As demais se encontram nas áreas sem prioridade definida, o que necessariamente não quer dizer que são desprovidas de importância biológica.



**Figura 5 –** Mapa de localização das propriedades com identificação das áreas prioritárias para conservação no Estado do Espírito Santo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Isso indica a importância dos impactos positivos no índice de impacto ambiental sobretudo para São José do Calçado e Muqui, cuja classificação indica:

"I. Extrema prioridade: áreas com alta riqueza de espécies endêmicas, ameaçadas e raras, ou com ocorrência de fenômenos biológicos ou processos ecológicos especiais; II. Muito alta prioridade: áreas com média riqueza de espécies endêmicas, ameaçadas ou raras, ou que possuam remanescentes de vegetação, altamente ameaçados ou com alto grau de conservação" (Espírito Santo, 2010).

De acordo com Wang et al. (2021), a definição de áreas prioritárias para a conservação, baseadas nos serviços ecossistêmicos, é essencial para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Segundo Pham, Chuah e Feeny (2022), apesar dos benefícios comprovados de práticas agrícolas sustentáveis, as taxas de adoção entre agricultores ainda são baixas, especialmente nos países em desenvolvimento. Um estudo, realizado por Guimarães *et al.* (2022), mostra que as principais barreiras identificadas para adoção de tais práticas são a falta de apoio governamental, a alta complexidade dos processos e as lacunas de comunicação. Por fim, é importante ressaltar que a adoção de tecnologias que diminuam os impactos ambientais é de extrema importância em quaisquer lavouras, incluindo aquelas que não produzem cafés especiais, visto que práticas sustentáveis impactam positivamente as lavouras, as propriedades e o meio ambiente.

#### CONCLUSÃO

A adoção de tecnologias para produção de cafés especiais nas propriedades estudadas mostrou impactos positivos no quesito ambiental, à medida que demonstrou a importância e eficiência de utilização de boas práticas de colheita e pós-colheita. Isso, por sua vez, contribuiu de forma significativa para o desenvolvimento sustentável dessas propriedades.

#### **CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES**

CAMPBELL, P. M. da M.; MORAES, J. G. de; SOUZA, T. da S. de; NUNES, M. C. P. e LOPES, D. S. realizaram a montagem de terreiros, armadilhas, coletas de amostras de

solo e lotes de café, entrega de equipamentos e coleta de dados. CAMPBELL, P. M. da M. e AZEVEDO, B. C. de. fizeram a tubulação, análise dos dados e criação de tabelas e figuras. AZEVEDO, B. C. de. executou a produção de mapas e levantamento de fontes cartográficas. CAMPBELL, P. M. da M. realizou a redação do texto e padronização das normas de acordo com a revista. MORAES, J. G. de; SOUZA, T. da S. de; NUNES, M. C. P.; LOPES, D. S. e AZEVEDO, B. C de. fizeram a revisão do texto e adição de partes significativas.

#### **CONFLITO DE INTERESSES**

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

#### **AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (Fapes) pelo apoio financeiro. À Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (Seag) pela proposição do edital que viabilizou a execução do projeto e ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) pelo apoio operacional.

#### **REFERÊNCIAS**

AZEVEDO, B. C. de. Qualidade de bebida e contaminações por fungos em grãos de Coffea arabica em diferentes sistemas de colheita e pós-colheita sob manejo orgânico em propriedade de base familiar no Caparaó capixaba. 2019. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, 2019.

BOLOGNESI, C. Genotoxicity of pesticides: a review of human biomonitoring studies. Mutation Research/Reviews *In*: **Mutation Research**, [S.I.], v. 543, n. 3, p. 251–272, jun. 2003. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/s1383–5742(03)00015–2

BOTE, A. D.; VOS, J. Tree management and environmental conditions affect coffee (*Coffea arabica* L.) bean quality. Njas – **Wageningen Journal of Life Sciences**, [S.l.], v. 83, p.39–46, dez. 2017. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2017.09.002

BOZZO, S.; AZIMONTI, G.; VILLA, S.; GUARDO, A. di; FINIZIO, A. Spatial and temporal trend of groundwater contamination from terbuthylazine and desethyl–terbuthylazine in the Lombardy Region (Italy). **Environ. Sci.**: Processes Impacts, [S.I.], v. 15, n. 2, p. 366–372, 2013. Royal Society of Chemistry (RSC). DOI: http://dx.doi.org/10.1039/c2em30536d

BRASIL. **Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003**. Definir as características de identidade e de qualidade para a classificação do Café Beneficiado Grão Cru. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 13 jun. 2003. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

BRAVO-MONROY, L.; POTTS, S. G.; TZANOPOULOS, J. Drivers influencing farmer decisions for adopting organic or conventional coffee management practices. **Food Policy**, [S.I.], v. 58, p. 49–61, jan. 2016. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.11.003

BREGAGNOLI, M.; RIBEIRO NETO, J. F. R. **Café nas montanhas**: caracterização da cafeicultura na área de atuação da Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé. Pouso Alegre: IFSULDEMINAS, 2017.172 p.

CAMPOS, R. C.; PINTO, V. R. A.; MELO, L. F.; ROCHA, S. J. S. S. da; COIMBRA, J. S. New sustainable perspectives for "Coffee Wastewater" and other by–products: a critical review. **Future Foods**, [S.I.], v. 4, p. 100058, dez. 2021. Elsevier BV.

CASAS, M. I.; VAUGHAN M. J., BONELLO, P.; GARDENER B. M.; GROTEWOLD, E., ALONSO, A. P. Identification of biochemical features of defective *Coffea arabica* L. beans. **Food Research International**, [S.l.], v. 95, p.59–67, maio 2017. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.015

COHN, A. S.; NEWTON, P.; GIL, J. D. B.; KUHL, L.; SAMBERG, L.; RICCIARDI, V.; MANLY, J. R.; NORTHROP, S. Smallholder Agriculture and Climate Change. **Annual Review of Environment And Resources**, [S.I.], v. 42, n. 1, p. 347–375, 17 out. 2017. Annual Reviews. DOI: http://dx.doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060946

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira de café – Safra 2019. **Acompanhamento da Safra Brasileira**, v.5, n.2, p.1–61, 2019.

DE MUNER, L. H. **Sostenibilidad de la caficultura arábica en el ámbito de la agricultura familiar em el Estado de Espírito Santo-Brasil**. 2012. 262 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais e Sustentabilidade) – Universidade de Córdoba-UCO, Córdoba, Espanha, 2012.

DIAS, R. C. E.; VALDERRAMA, P.; MARÇO, P. H.; SCHOLZ, M. B. dos S.; EDELMANN, M.; YERETZIAN, C. Quantitative assessment of specific defects in roasted ground coffee via infrared–photoacoustic spectroscopy. **Food Chemistry**, [S.l.], v. 255, p.132–138, jul. 2018. Elsevier BV.

DONALD, P.F. Biodiversity Impacts of Some Agricultural Commodity Production Systems. **Conservation Biology**, [S.I.], v. 18, n. 1, p. 17–38, fev. 2004. Wiley.

DONFRANCESCO, B. di; GUZMAN, N. G.; CHAMBERS, E. Similarities and differences in sensory properties of high quality Arabica coffee in a small region of Colombia. **Food Research International**, [S.L.], v. 116, p.645–651, fev. 2019. Elsevier BV.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Decreto nº 2530-R, de 02 de junho de 2010. Identifica Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Estado. Vitória, ES: 07 jun. 2010.

FAO (Food and Agriculture Organization Of The United Nations). **Food and agriculture**: Key to achieving the 2030 agenda for sustainable development. Job n°. I5499. Itália, Roma: FAO, 2016. p. 23.

FAO, (Food and Agriculture Organization Of The United Nations). **The state of food and agriculture**: innovation in family farming. Itália, Roma: FAO, 2014.

FERNANDES, F. L.; PICANÇO, M. C.; SILVA, R. S. da.; SILVA, I. W. da.; FERNANDES, M. E. de S.; RIBEIRO, L. H. Controle massal da broca-do-café com armadilhas de garrafa PET vermelha em cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 8, p. 587–594, ago. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0100–204X2014000800587&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 17 fev. 2020.

FERRÃO, M. A. G.; FERRAO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Origem, Dispersão Geográfica, Taxonomia e Diversidade Genética de Coffea canephora. *In*: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (org.). **Café Conilon**. 2ed. Vitoria: DCM/Incaper, 2017. v.1. p.81–101.

GALANAKIS, C. M Handbook of Coffee Processing By-Products Sustainable Applications. Reino Unido, Londres: Academic Press, 2017.

GATTI, N.; GOMEZ, M. I.; BENNETT, R. E.; SILLETT, T. S.; BOWE, J. Eco-labels matter: coffee consumers value agrochemical-free attributes over biodiversity conservation. **Food Quality and Preference**, [S.I.], v. 98, p. 104509, jun. 2022. Elsevier BV.

GUIMARÃES, Y. M.; EUSTACHIO, J. H. P. P.; LEAL FILHO, W.; MARTINEZ, L. F.; VALLE, M. R. do; CALDANA, A. C. F. Drivers and barriers in sustainable supply chains: the case of the brazilian coffee industry. **Sustainable Production and Consumption**, [S.I.], v. 34, p. 42–54, nov. 2022. Elsevier BV.

HAGGAR, J.; SOTO, G.; CASANOVES, F.; VIRGINIO, E. de M. Environmental–economic benefits and trade–offs on sustainably certified coffee farms. **Ecological Indicators**, [S.I.], v. 79, p. 330–337, ago. 2017. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.023

HO, T. Q.; HOANG, V.; WILSON, C. Sustainability certification and water efficiency in coffee farming: the role of irrigation technologies. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.I.], v. 180, p. 106175, maio 2022. Elsevier BV.

IFES (Instituto Federal do Espírito Santo). Campus Itapina constroi terreiro suspenso para secagem de café. Vitória, ES: Ifes Campus Itapina, 2018. Disponível em: https://itapina.ifes.edu.br/images/arquivo\_em\_pdf/CROQUI\_SECADOR\_SUSPENSO\_DE\_CAFe.pdf. Acesso em: 12 maio 2022.

JHA, S.; BACON, C. M.; PHILPOTT, S. M.; MÉNDEZ, V. E.; LÄDERACH, P.; RICE, R. A. Shade Coffee: update on a disappearing refuge for biodiversity. **Bioscience**, [S.I.], v. 64, n. 5, p. 416–428, 14 abr. 2014. Oxford University Press (OUP).

KNICKEL, K.; ASHKENAZY, A.; CHEBACH, T. C.; PARROT, N. Agricultural modernization and sustainable agriculture: contradictions and complementarities. **International Journal of Agricultural Sustainability**, [S.I.], v. 15, n. 5, p. 575–592, 3 set. 2017. Informa UK Limited. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2017.1373464

KROHLING, C. A.; SOBREIRA, F. M., APOSTÓLICO, M. A.; ALIXANDRE, F. T.; SOUZA, D. G. de; DIAS, P. P. T. R. da S.; BARBOSA, N.; DIAS, R. da S.; ROCHA, W. de A.; FORNAZIER, J. M. Qualidade sensorial de cultivares de café arábica sob cultivo adensado na Região do Caparaó Capixaba. *In*: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., 2019, Vitória. **Anais** [...]. Vitória, 2019. p. 1–5.

LAZZARINI, W.; MORAES, F. R. P. de. Influência dos grãos deteriorados ("tipo") sobre a qualidade da "bebida" de café. **Bragantia**, v. 17, n. 7, p. 109–118, 1958. Disponível em: https://www.scielo.br/j/brag/a/KjDkyRz4kpL4WxpmSkmhhCd/?format=pdf&lang=pt#:~:text=A%20 adi%C3%A7%C3%A3o%20de%2010%20e,3%2C55%20 pontos%2C%20respectivamente. Acesso em: 12 maio 2022.

LENZEN, M.; MORAN, D.; KANEMOTO, K.; FORAN, B.; LOBEFARO, L.; GESCHKE, A. International trade drives biodiversity threats in developing nations. **Nature**, [S.I.], v. 486, n. 7401, p. 109–112, jun. 2012. Springer Science and Business Media LLC. DOI: http://dx.doi.org/10.1038/nature11145

LIMA, L. M. de; ELIAS, L. de P.; SILVA, M. M. C. De; SILVA, K. V. da; PACHECO, A. S. V, Behavioral aspects of the coffee consumer in different countries: the case of Brazil. **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil**, [S.l.], p. 321–341, 2020. Elsevier. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-814721-4.00016-0

LOPES, P. R.; ARAÚJO, K. C. S.; LOPES, I. M.; RANGEL, R. P.; SANTOS, N. F. F.; KAGEYAMA, P. Y. Uma análise das consequências da agricultura convencional e das opções de modelos sustentáveis de produção – agricultura orgânica e agroflorestal. **Revista Espaço de Diálogo e Desconexão** (REDD), v. 8, n. 1 e 2, p. 1–38, 2014. Disponível em: https://periodicos.fclar.unesp. br/redd/article/view/6912. Acesso em: 12 maio 2022.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Café no Brasil.** 2017. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe. Acesso em: 14 fev. 2020.

MILDER, J. C.; ARBUTHNOT, M.; BLACKMAN, A.; BROOKS, S. E.; GIOVANNUCCI, D.; GROSS, L.; KENNEDY, E. T.; KOMIVES, K.; LAMBIN, E. F.; LEE, A. An agenda for assessing and improving conservation impacts of sustainability standards in tropical agriculture. **Conservation Biology**, [S.I.], v. 29, n. 2, p. 309–320, 31 out. 2014. Wiley. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/cobi.12411

NGUYEN, N.; DRAKOU, E. G. Farmers intention to adopt sustainable agriculture hinges on climate awareness: the case of vietnamese coffee. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], v. 303, p. 126828, jun. 2021. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126828

OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S., MENDONÇA, J. C. F.; BARROS-JÚNIOR, M. C. Proximate composition and fatty acids profile of green and roasted defective coffee beans. **Food Science and Technology**, [S.l.], v. 39, n. 3, p.235–239, abr. 2006. Elsevier BV.

PEREIRA, L. L.; GUARÇONI, R. C; PINHEIRO, P. F.; OSÓRIO, V. M.; PINHEIRO, C. A.; MOREIRA, T. R.; TEN CATEN, C. S. New propositions about coffee wet processing: Chemical and sensory perspectives. **Food Chemistry**, [S.l.], v. 310, p.1–10, abr. 2020. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125943

PHAM, H–C.; CHUAH, S; FEENY, S. Coffee farmer preferences for sustainable agricultural practices: findings from discrete choice experiments in vietnam. **Journal of Environmental Management**, [S.I.], v. 318, p. 115627, set. 2022. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115627

QUEIROZ, V. T. de; AZEVEDO, M. M.; QUADROS, I. P.da S.; COSTA, A. V.; AMARAL, A. A. do; SANTOS, G. M. A. D. A dos; JUVANHOL, R. S.; TELLES, L. A. A.; SANTOS, A. R. dos. Environmental risk assessment for sustainable pesticide use in coffee production. **Journal of Contaminant Hydrology**, [S.I.], v. 219, p. 18–27, dez. 2018. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.08.008

RIBEIRO, J. S.; AUGUSTO, F.; SALVA, T. J. G.; FERREIRA, M. M. C. Prediction models for Arabica coffee beverage quality based on aroma analyses and chemometrics. **Talanta**, [S.l.], v. 101, p.253–260, nov. 2012. Elsevier BV.

RODRIGUES, G. S.; Avaliação dos impactos sociais de tecnologias agropecuárias. *In*: **Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: metodologia de referência**.
Brasília: Embrapa, Informação Tecnológica, 2008.

SALVAGNI, J.; TERNUS, R. Z.; FUENTEFRIA, A. M. Assessment of the genotoxic impact of pesticides on farming communities in the countryside of Santa Catarina State, Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, [S.I.], v. 34, n. 1, p. 122–126, 26 nov. 2010. FapUNIFESP (SciELO). DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1415–47572010005000104

SAMBERG, L. H.; GERBER, J. S.; RAMANKUTTY, N.; HERRERO, M.; WEST, P. C. Subnational distribution of average farm size and smallholder contributions to global food production. **Environmental Research Letters**, [S.I.], v. 11, n. 12, p. 124010, 29 nov. 2016. IOP Publishing. DOI: http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124010

SHUAI, X.; CHEN, J.; RAY, C. Adsorption, transport and degradation of fipronil termiticide in three Hawaii soils. **Pest Management Science**, [S.I.], v. 68, n. 5, p. 731–739, 2 nov. 2011. Wiley.

STEHLE, S.; SCHULZ, R. Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *In*: PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, [S.I.], v. 112, n. 18, p. 5750–5755, 13 abr. 2015. **Anais** [...]. DOI: http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1500232112

TOLEDO, P. R. A. B.; PEZZA, L.; PEZZA, H. R.; TOCI, A. T. Relationship between the different aspects related to coffee quality and their volatile compounds. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, p. 705–719, 2016.

TRIPETCH, P.; BOROMPICHAICHARTKUL, C. Effect of packaging materials and storage time on changes of colour, phenolic content, chlorogenic acid and antioxidant activity in arabica green coffee beans (Coffea arabica L. cv. Catimor). **Journal of Stored Products Research**, [S.l.], v. 84, p.1–10, dez. 2019. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101510

TRISTÃO, F. A.; KROHLING, C. A.; DE MUNER, L. H.; SOUZA, M. F.; FORNAZIER, M. J. Tendências para a sustentabilidade da cafeicultura de arábica em regiões de montanha. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 10, p. 105–124, jan./dez. 2019. ISSN 2179–5304

VANDERHAEGEN, K.; AKOYI, K.T.; DEKONINCK, W.; JOCQUÉ, R.; MUYS, B.; VERBIST, B.; MAERTENS, M. Do private coffee standards 'walk the talk' in improving socio–economic and environmental sustainability? **Global Environmental Change**, [S.I.], v. 51, p. 1–9, jul. 2018. Elsevier BV.

WANG, Y.; WANG, X.; YIN, L.; FENG, X.; ZHOU, C.; HAN, L.; LÜ, Y. Determination of conservation priority areas in Qinghai Tibet Plateau based on ecosystem services. **Environmental Science & Policy**, [S.I.], v. 124, p. 553–566, out. 2021. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2021.07.019

ZEWELD, W.; VAN HUYLENBROECK, G.; TESFAY, G.; SPEELMAN, S. Smallholder farmers' behavioural intentions towards sustainable agricultural practices. **Journal of Environmental Management**, [S.I.], v. 187, p. 71–81, fev. 2017. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.014

## IMPORTÂNCIA DA MELHORIA DA QUALIDADE DO CAFÉ ARÁBICA PARA A SUSTENTABILIDADE DE PROPRIEDADES AGRÍCOLAS

David Brunelli Viçosi<sup>1</sup>; Cecília Uliana Zandonadi<sup>2</sup>; Rogério Carvalho Guarçoni<sup>3</sup>; Marx Bussular Martinuzzo<sup>4</sup>; Fabiano Tristão Alixandre<sup>5</sup>; Cesar Abel Krohling<sup>6</sup>; Cleber Cássio Ferreira<sup>7</sup>; Victor dos Santos Rossi<sup>8</sup>; Evaldo de Paula<sup>9</sup>; Maurício José Fornazier<sup>10</sup>

**Resumo** – A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do Estado do Espírito Santo, que, no cenário nacional, ocupa a posição de segundo maior produtor brasileiro de café, cultivando as espécies de café arábica (*Coffea arabica*) e robusta ou conilon (*Coffea canephora*). Para a produção de cafés especiais, os princípios baseados no desenvolvimento sustentável, com indicadores nos eixos econômico, ambiental e social, devem ser incentivados, para assim permitir a maior fixação do homem, inclusive dos jovens, no campo e a melhoria na qualidade de vida das famílias rurais. Apesar de sua extrema importância, a avaliação da sustentabilidade na cafeicultura ainda é um grande desafio, devido à complexidade dos aspectos envolvidos. Realizar a avaliação da sustentabilidade oferece um referencial analítico, identificando os problemas e auxiliando no planejamento direcionado de estratégias que melhorem o desempenho sustentável das propriedades. O objetivo deste trabalho é apresentar a importância de uma cafeicultura sustentável, com inclusão da melhoria da qualidade do café, para o incremento da qualidade de vida nas propriedades agrícolas. Constatou-se que diversas intervenções são necessárias para a adequação das propriedades produtoras de café aos princípios da sustentabilidade, principalmente relacionadas aos critérios econômicos, ambientais e sociais, que poderão ser oferecidas através de assistência técnica aos agricultores. As intervenções tendem a aumentar a produção de cafés especiais nas propriedades, tornando-as aptas para as certificações de terceira parte e à exportação de cafés especiais para novos mercados, agregando valor aos grãos. Dessa forma, será possível agregar renda à propriedade rural, a fim de aumentar a qualidade de vida da família dos agricultores e de seus parceiros, bem como haverá maiores investimentos na preservação ambiental.

Palavras-chaves: Cafeicultura. Desenvolvimento sustentável. Indicadores econômicos e socioambientais.

## THE IMPORTANCE OF IMPROVING THE QUALITY OF ARABICA COFFEE FOR THE SUSTAINABILITY OF FARMS

**Abstract** – Coffee growing is one of the most important agricultural activities in the State of Espírito Santo, which, on the national scene, ranks as the second largest coffee producer in Brazil, cultivating arabica (*Coffea arabica*) and robusta or conilon (*Coffea canephora*) coffee species. For the production of specialty coffees, principles based on sustainable development, with indicators in the economic, environmental, and social axes, should be encouraged, in order to enable more people, including young ones, to stay in the countryside and to improve the quality of life of rural families. Despite its extreme importance, the assessment of sustainability in coffee growing is still a significant challenge due to the complexity of the aspects involved. Carrying out a sustainability assessment offers an analytical framework, identifying problems and assisting in the targeted planning of strategies that improve the sustainable performance of properties. This study aims to present the importance of sustainable coffee growing, including improving the quality of coffee, in order to increase the quality of life on agricultural properties. We found that several interventions are necessary for adapting coffee–producing properties to the principles of sustainability, mainly related to economic, environmental, and social criteria, which may be offered through technical assistance to farmers. Interventions tend to increase the production of specialty coffees, making them suitable for third–party certification and export of specialty coffees to new markets, adding value to the beans. In this way, it will be possible to add income to the rural property, to increase the quality of life of the family of farmers and their partners, as well as higher investments in environmental preservation.

**Keywords:** Coffee growing. Sustainable development. Economic and socio-environmental indicators.

- <sup>1</sup>Mestrando em Agroecologia, Bolsista Fapes
- <sup>2</sup> Mestranda em Ciências Florestais, Ex-bolsista Fapes
- <sup>3</sup> D.Sc. Produção Vegetal, Pesquisador Incaper, rogerio.guarconi@gmail.com
- <sup>4</sup> Administrador Rural, Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Extensionista Incaper
- <sup>5</sup> Doutorando em Genética e Melhoramento, Extensionista Incaper
- <sup>6</sup> D.Sc. Ecologia de Ecossistemas, Pesquisador Incaper
- <sup>7</sup> M.Sc. Agroecologia, Extensionista Incaper
- <sup>8</sup> Engenheiro Agrônomo, Extensionista Incaper
- 9 M.Sc. Agroecologia
- <sup>10</sup> D.Sc. Entomologia, Pesquisador Incaper, mauriciofornazier@gmail.com

#### **INTRODUÇÃO**

A cafeicultura apresenta grande destaque na economia mundial, ocupando a segunda colocação na geração de riqueza do planeta, que a coloca atrás apenas do petróleo. Além disso, é uma das cinco potencialidades agrícolas mais comercializadas no mundo, o que ressalta a importância dos grãos na sociedade atual (Ferrão *et al.*, 2017).

Os primeiros registros do café aconteceram por volta do século XV na Etiópia, mas rapidamente o grão se espalhou pela Europa e, posteriormente, por todo o mundo. No Brasil, foi em 1727 que as primeiras mudas chegaram, através de um oficial português proveniente da Guiana Francesa. As primeiras mudas foram plantadas no Estado do Pará, onde não apresentaram os resultados esperados. Isso acarretou um atraso, até que o produto viesse a ser produzido em escala crescente nas regiões de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo, com início em 1880 (Abic, 2022).

Atualmente, o Brasil lidera a produção mundial de café, uma vez que nas últimas décadas se tornou o maior produtor, maior exportador e segundo maior consumidor de café, responsável por cerca de 70% das exportações desse produto no mundo. A segunda estimativa, em 2022, da Conab para a safra brasileira de café das espécies arábica (Coffea arabica) e conilon (Coffea canephora), indica produção total de 53,43 milhões de sacas beneficiadas (60 kg) (Oliveira et al., 2021; Conab, 2022).

A área cultivada de café arábica no Brasil, em 2022, esteve estimada em 1,809 milhão de hectare, com destaque para a Região Sudeste, que apresentou cerca de 1,331 milhão de hectare em produção. Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo são os maiores produtores do grão (Conab, 2022).

O início da formação econômica, social e política do Estado do Espírito Santo teve como principal pilar a cultura do café. Essa atividade foi responsável por integrar o estado à economia nacional e ao comércio internacional, além de ajudar a construir a sua base sociocultural. Embora a base econômica tenha se diversificado nas últimas décadas, a cafeicultura continua como a mais importante atividade do setor agropecuário do estado, com o cultivo presente em todos os municípios capixabas, exceto na capital Vitória (Caliman, 2012; Silva et al., 2017). O Espírito Santo

ocupa lugar de destaque na produção das duas espécies de cafés, *C. arabica* e *C. canephora*, pois se posiciona como o segundo produtor no *ranking* nacional, com 29,60% do total produzido, atrás somente de Minas Gerais, com participação de 46,40%. A cafeicultura é conduzida em áreas declivosas e em altitudes que variam de 500 m a 1.200 m. A Região Sul, de montanhas, concentra a maioria das lavouras de café arábica desse estado (Conab, 2022).

Desde a década de 2000, observa-se a alta dependência das propriedades agrícolas da cafeicultura de arábica na região das montanhas e Caparaó capixaba, responsável por mais de 70% de suas rendas totais (Schmidt *et al.*, 2004).

#### **OUALIDADE DO CAFÉ SUPERIOR**

O conceito de qualidade é muito amplo e pode se referir a diversos fatores pertinentes ao sistema produtivo. A qualidade pode estar atrelada ao produto ou ao modo como ele foi produzido, atendendo às normas e padrões pré-estabelecidos, com controle rigoroso de sistemas e processos. Também pode se referir a um produto de luxo, de alto valor agregado e que utiliza na sua confecção materiais raros ou especiais (Leme; Pinto, 2018).

A qualidade dos grãos de café, como bebida, depende de vários elementos, tais como: a) composição química do grão, determinada por fatores genéticos, ambientais e culturais; b) métodos de colheita, processamento e armazenamento; c) torra e preparo da bebida. Os dois últimos são responsáveis pela modificação da constituição química dos grãos a partir da sua composição original.

As características físicas e a composição química do café são influenciadas por fatores de naturezas diversas, destacam-se as características genéticas, ambientais, nutricionais, manejo da lavoura, colheita, preparo, entre outros. À exceção dos genéticos e ambientais, os demais fatores podem ser controlados após a implantação da lavoura, não só no manejo (boas práticas agrícolas), quando todo esforço é empregado na obtenção do máximo em qualidade (Silva et al., 2008; Mesquita et al., 2016; Alixandre et al., 2020).

Para se obter um café de qualidade é necessária uma matéria-prima constituída por frutos graúdos e sadios no estágio de maturação cereja; seus sabores podem ser influenciados por diversos fatores, como as características sensoriais, naturais e humanas, além de costumes e cultura local (Mesquita et al., 2016; Dias et al., 2021; Souza et al., 2021). A qualidade intrínseca do grão torrado (aroma, acidez, amargor, corpo, sabor e impressão global) são atributos sensoriais, bem como as diversas nuances cada vez mais exploradas e valorizadas pelo mercado de cafés especiais, principalmente pelas sensações e percepções proporcionadas (SCAA, 2008).

O aumento do número de consumidores de cafés especiais e/ou superiores é crescente. Essa valorização tem repercutido no campo e muitos produtores estão trocando a cafeicultura convencional pelo cultivo de cafés especiais e sustentáveis. No comércio mundial do café arábica, os cafés especiais têm registrado, nos últimos 15 anos, aumentos expressivos da demanda mundial, em média 12% ao ano, enquanto os cafés tradicionais (commodity) têm crescido a uma taxa anual de 2% (Abic, 2018; BSCA, 2018).

O mercado consumidor de café de qualidade está cada vez mais exigente, pois, além da qualidade dos produtos, busca-se, também, a segurança do alimento, o qual deve se apresentar necessariamente isento de contaminantes químicos e biológicos (De Muner et al., 2017b). Para atender a essa demanda, surgiram inúmeras certificações para atestar ao consumidor que determinado produto agrícola atende aos padrões sociais, ambientais, de qualidade e de segurança do alimento.

O consumidor, portanto, deseja o diferencial de qualidade e aceita pagar o diferencial de preço por um produto tão especial (Castro et al., 2018; Leme; Pinto, 2018; Conceição J.; Ellery Junior; Conceição P., 2019). A segurança do alimento tem sido tratada como item indispensável para a comercialização, o que torna necessário eliminar riscos de contaminação para prevenir intoxicações e outros problemas que possam afetar a saúde dos consumidores (De Muner et al., 2017b).

## SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito de sustentabilidade está relacionado a assegurar o bem-estar humano e alcançar a segurança alimentar global sem esgotar ou diminuir a capacidade da terra e dos ecossistemas para apoiar a vida ou à custa do bem-estar dos outros (FAO, 2014). O conceito de sustentabilidade estava em processo de adaptação durante importantes eventos como a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano (1972), a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1987) e a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92, 1992). Em suma, o desenvolvimento sustentável não deve pôr em risco os sistemas naturais que sustentam a vida na Terra, e requer que as sociedades atendam às atividades humanas tanto no aumento do potencial produtivo como na garantia de oportunidades iguais para todos (ONU, 2018).

As diretrizes da Avaliação de Sustentabilidade de Sistemas Alimentares e Agrícolas (Safa) foram desenvolvidas para serem aplicáveis em todo o mundo e em qualquer contexto e dimensão das atividades agrícola, pecuária, aquícola, pesqueira e florestal, desde que compreenda as diferentes circunstâncias socioeconômicas e ambientais (FAO, 2014). Dessa forma, criou-se uma demanda por ações coletivas e de políticas públicas que refletissem a importância de práticas sustentáveis no modo de produção e no meio de vida das pessoas. Nesse contexto, foram criados dispositivos de proteção ambiental, tais como legislações, planos e programas (Diniz et al., 2015).

O papel da agricultura no desenvolvimento humano é crucial, porém os processos agrícolas são atividades antrópicas que utilizam muitos recursos naturais fundamentais como terra e água. A agricultura convencional é considerada como altamente degradante do ambiente e a principal causa de problemas como a devastação das florestas, exaustão dos solos, assoreamento dos rios, contaminação das águas por agrotóxicos e empobrecimento da biodiversidade. A cafeicultura sustentável busca atender, de forma holística e sistêmica, as dimensões ecológica, econômica e social (De Muner et al., 2017a).

O grande desafio para o desenvolvimento sustentável na cafeicultura das montanhas do Estado do Espírito Santo é estabelecer sistemas de produção que possam aliar viabilidade econômica com bem-estar social e proteção ambiental. Assim, organizações públicas e privadas estão criando ações integradas que direcionam os cafeicultores na trajetória da sustentabilidade (Dias *et al.*, 2021).

#### **CERTIFICAÇÕES**

O Brasil exportou cerca de 5,1 milhões de sacas beneficiadas (60 kg) de cafés especiais em 2017, 6,2 milhões em 2018, 7,5 milhões em 2019 e 7,8 milhões em 2020. Esses números comprovaram expressivo aumento no mercado consumidor de cafés de qualidade, principalmente pelos países desenvolvidos como Alemanha, Bélgica, Estados Unidos, Itália e Japão (Cecafé, 2022). Frente a essa crescente demanda, a certificação do produto se torna crucial para os produtores e exportadores de café.

A certificação de terceira parte é instrumento de controle externo capaz de sinalizar e comprovar a qualidade do café, favorecendo a redução dos custos de transação e promovendo o desenvolvimento de melhores práticas de produção sustentável de cafés especiais através da ratificação dos sistemas de produção. Existem diversas certificações que atestam a qualidade da produção agrícola, cada uma atende a objetivos específicos e destina-se a um determinado tipo de cafeicultor e de consumidor. Algumas certificações focam mais em alguns aspectos do que em outros, porém, todas possuem o mesmo anseio em reduzir a assimetria de informações entre os elos da cadeia (Machado, 2000; Barra; Ladeira, 2017).

No caso dos cafés certificados, o objetivo final é ocupar um espaço no mercado que garanta diferencial de preço em relação ao café não certificado. Esse diferencial é o que sustenta toda a cadeia que envolve a certificação, incluindo os custos operacionais da certificadora, exames laboratoriais, *marketing*, canais de comercialização e investimento realizado pelo cafeicultor para se adequar ao sistema exigido (Castro *et al.*, 2018; Leme; Pinto, 2018).

#### TERROIR E INDICAÇÃO GEOGRÁFICA

A indicação de procedência é uma modalidade de Indicação Geográfica (IG) na qual produtores se organizam para garantir que um produto de dada região seja produzido de forma consistente e com qualidade. A IG é um nome e/ou termo que se refere a um local geográfico particular.

É usada, portanto, para identificar produtos com qualidade e reputação únicas devido a sua origem geográfica. Os consumidores podem associar a origem à alta qualidade do produto e, como resultado, esse produto poderá ter um preço mais elevado (Leme; Pinto, 2018; Dias et al., 2021).

Os fatores naturais (clima, relevo, altitude, solo etc.) e os fatores humanos/culturais (identidade regional, agricultura familiar e modo característico de trabalhar em cafeicultura) influenciam diretamente a produção, que se reflete na qualidade diferenciada dos cafés. Essa combinação de fatores, que estão diretamente ligados à atividade produtiva local e que se alinham às características sociais, culturais, históricas e institucionais de uma região, são responsáveis pela denominação de origem de um produto, como o café (Souza et al., 2021).

É evidente que a qualidade dos grãos de café influencia diretamente o preço do produto. Nesse contexto, os cafés especiais das montanhas do Espírito Santo ganham cada vez mais destaque devido às suas características peculiares, suscitando a criação de uma IG própria. As condições edafoclimáticas, os solos, relevos e condições de exposição ao sol influenciam na temperatura, umidade, níveis de irradiação e precipitação. Esse conjunto de fatores altera a fisiologia da planta, afetando o tempo de maturação, a constituição química dos frutos e, consequentemente, a qualidade final da bebida. O resultado das interações desses fatores com as cultivares, manejo da cultura e práticas de colheita e pós-colheita cria terroirs característicos com diversidades de aromas e sabores (Barbosa; Valente, 2021; Dias et al., 2021; Souza et al., 2021).

Diante da crescente demanda pelo mercado mundial de cafés especiais com perfis sensoriais diferenciados, torna-se um grande desafio para a pesquisa avaliar as interações entre diferentes genótipos com o clima e manejo das lavouras em diferentes regiões produtoras de café arábica no Brasil (Tristão *et al.*, 2019). As altitudes mais elevadas fornecem maior quantidade de bactérias com propriedades funcionais para os frutos de café, podem fornecer enzimas úteis para o processo de fermentação desejável da mucilagem do café e contribuem para a formação de aromas e sabores característicos (Veloso *et al.*, 2020). O ambiente remanescente de Mata Atlântica

presente na região de montanhas do Espírito Santo também contribui para a formação de microclimas nas lavouras, que podem favorecer a formação do *terroir* característico dos cafés da região (Dias *et al.*, 2021).

#### **DESAFIOS**

Diante do cenário descrito, identificou-se um conjunto de dificuldades encontradas na região das montanhas capixabas na produção de café arábica de qualidade. Embora a disponibilidade de tecnologias existentes no contexto da cafeicultura esteja em crescimento, ainda é possível encontrar muitos desafios em diversas fases do sistema produtivo para os cafés arábicas produzidos em regiões declivosas. Esses desafios estão relacionados a três principais aspectos: o relevo acidentado, que dificulta o uso de máquinas e até mesmo da mão de obra manual, onerando os custos da produção e da colheita; a conservação dos solos e das águas; e o aumento da produtividade e da produção de cafés superiores de forma competitiva e sustentável (Tristão et al., 2019). Outros desafios encontrados na cadeia produtiva do café arábica estão relacionados à busca do equilíbrio na distribuição da renda de todos os seus elos; agregação de valores com abertura de novos nichos de mercado para cafés especiais; promoção do consumo de cafés superiores e seus derivados; e certificação e rastreabilidade da produção (Borém, 2012; De Muner et al., 2017b).

A maioria das propriedades envolvidas na produção de café se enquadra na definição de agricultura familiar (Brasil, 2006), que é responsável por grande parte da economia brasileira. Apesar de sua grande representatividade, esse segmento ainda necessita de investimentos tecnológicos para aumentar a produtividade das lavouras e proporcionar retornos econômicos mais expressivos e, assim, diminuir a evasão do homem do campo e incrementar sua qualidade de vida (Viçosi et al., 2022).

A inserção da sustentabilidade na cafeicultura ainda é um grande desafio devido à complexidade dos aspectos ambientais, socioeconômicos e culturais. As normas de avaliação e monitoramento de sustentabilidade são ferramentas importantes para identificar problemas, bem como definir estratégias que promovam as

mudanças necessárias para melhorar o desempenho de sustentabilidade das fazendas (De Muner *et al.*, 2017a).

Observa-se que a cafeicultura assume enorme importância, tanto na geração de emprego e renda no campo como contribuindo para evitar o êxodo rural. Assim, a cafeicultura precisa ser analisada não somente quanto à sua eficiência tecno-produtiva, mas, também, no que tange à sua eficiência socioeconômica e seus impactos ambientais, segundo a concepção de sustentabilidade exposta (Siqueira; Souza; Ponciano, 2011).

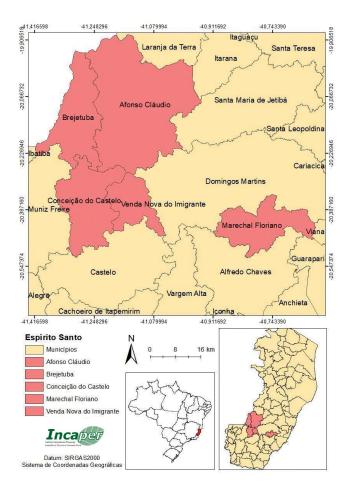
#### O PROJETO: "AVALIAÇÃO ECONÔMICA E SOCIOAMBIENTAL DAS TECNOLOGIAS RECOMENDADAS PARA PRODUÇÃO DE CAFÉS ESPECIAIS NO ESPÍRITO SANTO"

O projeto "Avaliação Econômica e Socioambiental das Tecnologias Recomendadas para Produção de Cafés Especiais no Espírito Santo" foi aprovado no edital de Portaria n°002–R/2020, Banco de Projeto de Pesquisa da Secretaria de Agricultura (Seag) do Estado do Espírito Santo e iniciado em janeiro/2021.

O trabalho de Pesquisa/Ater é realizado na Região Sudoeste-Serrana, nos municípios de Afonso Cláudio, Brejetuba, Conceição do Castelo, Marechal Floriano e Venda Nova do Imigrante, região de abrangência da IG Café Montanhas do Espírito Santo (Figura 1). Quinze propriedades foram selecionadas com base no critério de cafeicultores que ainda não produzem cafés especiais e sustentáveis, somente produzem café bebida tipo rio/riada. Dessa forma, foi possível a aplicação das técnicas preconizadas no programa cafeicultura sustentável do Governo do Estado do Espírito Santo.

O projeto objetiva avaliar e difundir os impactos econômicos e socioambientais das tecnologias recomendadas pela pesquisa para produção de cafés especiais no Espírito Santo. Para alcançar esse objetivo, foram avaliados os impactos da aplicação das tecnologias para produção de cafés especiais preconizadas pela pesquisa na viabilidade econômica, na proteção ambiental e na promoção do bem-estar nas propriedades envolvidas.

Portanto, buscou-se conhecer a situação do cultivo das propriedades, incentivar a produção de cafés especiais, bem como introduzir os princípios de sustentabilidade nessas propriedades rurais. Ademais, difundir para a sociedade as tecnologias de maior relevância na produção de cafés especiais, além de levantar novas demandas focadas no contexto da produção de cafés especiais.



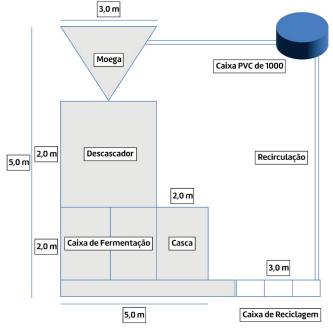
**Figura 1** – Região de abrangência do projeto "Avaliação Econômica e Socioambiental das Tecnologias Recomendadas para Produção de Cafés Especiais no Espírito Santo", localizada na IG Café Montanhas do Espírito Santo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a seleção, aplicou-se a ferramenta "Sistema para Avaliação de Indicadores de Sustentabilidade da Cafeicultura do Espírito Santo" (Martinuzzo *et al.*, 2021), que permitiu ser possível gerar o diagnóstico econômico, ambiental e social de cada uma delas. Essa ferramenta pontua as propriedades numa escala de 0 a 100 pontos, baseados nos eixos e seus indicadores.

A partir do diagnóstico inicial, constatou-se o marco zero de sustentabilidade de cada propriedade, que foi utilizado como referência para aferir a evolução da aplicação das tecnologias preconizadas pelas propostas do projeto. Ao final de cada ano-safra, as unidades de referência serão reavaliadas e, dessa forma, será possível mensurar a evolução das aplicações das tecnologias nos indicadores econômicos e socioambientais. Também serão identificadas de que forma as tecnologias impactarão nos indicadores avaliados.

Para viabilizar a produção de cafés especiais, uma unidade de processamento pós-colheita foi instalada em cada propriedade (Figura 2) com os seguintes componentes: um lavador de café adaptado no formato de moega de alvenaria, um descascador/separador de café com capacidade de processar 2 mil litros por hora, duas caixas de fermentação, um local para depósito de cascas, e três caixas para reciclagem e infiltração da água residuária. Para reduzir os custos de implantação e o impacto ao meio ambiente, o projeto foi idealizado para ser concretizado em barrancos, em vista de utilizar a gravidade a favor do processamento do café. Dessa forma, há menor consumo de energia, além de maior economia de água, aproveitando o relevo natural das propriedades, as quais, em sua totalidade, possuem morros acentuados.



**Figura 2** – Representação diagramática de unidade de processamento implantada para a produção de cafés especiais. **Fonte**: Elaborada pelos autores.

A construção das unidades de referência do projeto foi concluída em 2023 (Figura 3). O processo de escolha, definição e medição do possível local de instalação foi feito individualmente em cada propriedade, para respeitar as condições e características de cada situação (Figura 3A). Adequou-se o talude de pelo menos 5 m de altura e a área ocupada foi de cerca de 35 m². Para a adequação e execução dos cortes dos taludes, foram firmadas parcerias com as secretarias municipais, que contribuíram com as máquinas escavadeiras e carregadeiras, operadores

e demais envolvidos (Figura 3B). Nas figuras 3C, 3D e 3E, é possível observar o processo inicial de construção e implementação das estruturas de processamento em diferentes propriedades participantes do projeto. A figura 3F mostra uma unidade já montada e em funcionamento. Vale ressaltar que cada propriedade possui uma realidade única, assim, cada unidade de processamento construída apresenta características diferentes. A execução das obras foi realizada em vista de respeitar as condições financeiras, ambientais e sociais de cada família envolvida.



**Figura 3** – Processo de instalação, construção e funcionamento das unidades de produção de cafés especiais realizadas no projeto "Avaliação Econômica e Socioambiental das Tecnologias Recomendadas para Produção de Cafés Especiais no Espírito Santo". **Fonte:** Acervo dos autores.

Ao decorrer dessas atividades, foram realizadas trocas de experiências (saberes) entre os envolvidos, permitindo que fossem compartilhadas diferentes contribuições para o estabelecimento das unidades em cada realidade. Assim, foi possível que um produtor aprendesse com o outro e adaptasse para sua propriedade as vivências compartilhadas.

Todas as etapas são realizadas sob supervisão das secretarias municipais de Meio Ambiente e Agricultura, com intuito de obedecer aos requisitos técnicos legais exigidos para o licenciamento ambiental da atividade de processamento de café via úmida.

#### **RESULTADOS**

Os resultados alcançados na pesquisa inicial do projeto "Avaliação Econômica e Socioambiental das Tecnologias Recomendadas para Produção de Cafés Especiais no Espírito Santo" demonstraram que os produtores apresentaram defasagem, principalmente do eixo econômico. A Figura 4 apresenta a avaliação do eixo econômico realizada em sete propriedades, quatro no Município de Afonso Cláudio (A, B, C e D) e três no Município de Conceição do Castelo (E, F e G).

Segundo Martinuzzo et al. (2021), no sistema de avaliação, os padrões utilizados para o eixo econômico são: eficiência da produtividade da lavoura, eficiência da comercialização do café, gestão da qualidade do café, gestão do custo e renda da produção, boas práticas agrícolas (BPA) – análise do solo, BPA – análise foliar, BPA – conservação do solo, BPA – integração de pragas e manejo de doenças, BPA – irrigação, boas práticas de colheita e pós-colheita, rastreabilidade da produção e armazenamento do grão de café.

Dentre os indicadores analisados, constatou-se que todos os produtores mostraram problemas na gestão da qualidade dos grãos de café, o que foi justificado pela baixa valorização monetária agregada ao café bebida rio/riada que é produzido pelas propriedades analisadas. Em consequência da baixa valorização e da falta de retorno econômico, tornou-se inviável a realização de maiores investimentos nas questões ambientais e sociais (Viçosi et al., 2022; Zandonadi et al., 2022).

Quase todas as propriedades apresentaram baixo desempenho nos processos de colheita e pós-colheita devido às práticas tradicionais utilizadas e que não permitem a obtenção de cafés de qualidade superior. Ressalta-se que apenas a propriedade 5 (Figura 4E) apresentou nota máxima nesse critério. A obtenção de nota máxima exige que a propriedade adote os 10 mandamentos essenciais para a produção, preparo, armazenamento do grão de café e comercialização de cafés especiais (Incaper, 2013; Viçosi *et al.*, 2022).

Outro grande desafio para os cafeicultores foi a gestão da comercialização dos grãos de café. As pontuações obtidas quanto às qualidades de bebida das sete propriedades amostradas foram muito baixas e associadas à bebida Rio – tipo 7. Esse nível de qualidade não permite a valorização dos grãos de café e impede a agregação de valor, o que torna os rendimentos agrícolas insatisfatórios. Apenas a propriedade 5 (Figura 4E) obteve nota acima da média, totalizando 75 pontos. Isso demonstra que a qualidade da bebida ainda pode ser aperfeiçoada.

No indicador de rastreabilidade, nenhuma propriedade alcançou nota acima da média, no máximo obtiveram 50 pontos, como é o caso da propriedade 2, 3 e 6 (Figuras 4B, 4C e 4F). Para a rastreabilidade da produção, é fundamental que os produtores tenham o mapa/esquema das propriedades com identificação dos talhões de café individualizadas, bem como os registros dos diferentes lotes produzidos, que permite a rastreabilidade desde a colheita até o armazenamento do grão de café (Alixandre et al., 2020).

Apenas a propriedade 5 (figura 4E) atendeu a todos os critérios necessários para o armazenamento adequado dos grãos de café, as demais tiveram no máximo 50 pontos, o que afetou as notas finais. O armazenamento do grão de café deve ser limpo, livre de pragas, arejado, fechado e com iluminação controlada. Os grãos podem ser armazenados na forma de coco ou pergaminho, e a umidade interna dos grãos de café deve ser mantida em torno de 11% a 12% em sacos de juta ou *eco-bags* de plástico (Diniz *et al.*, 2015; Alixandre *et al.*, 2020).

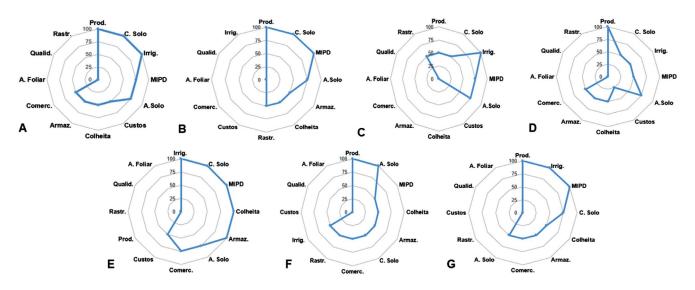


Figura 4 – Indicadores do eixo econômico, propriedades 1(A); 2(B); 3(C); 4(D); 5(E); 6(F) e 7(G). Afonso Cláudio, Conceição do Castelo, Espírito Santo, Brasil, 2021. Prod. – eficiência de produtividade da lavoura; Comer. – eficiência da comercialização; Qualid. – gestão da qualidade; Custos – gestão de custo de produção e receitas; A. Solo – boas práticas agrícolas (BPA) / análise de solo; A. Foliar – BPA/ análise foliar; C. Solo – BPA/ conservação do solo; MIPD – BPA/manejo integrado de pragas e doenças; Irrig. – BPA/ irrigação; Colheita – boas práticas de colheita e pós–colheita; Rastr. – rastreabilidade da produção; Armaz. – armazenamento dos grãos de café.

Fonte: Adaptado de Viçosi et al. (2022) e Zandonadi et al. (2022).

A análise foliar anual é outro padrão que precisa ser melhor trabalhado para aumentar a produtividade do café. Esse critério foi de extrema importância para diminuir as pontuações das propriedades, pois nenhuma delas realiza essa prática agrícola. Por outro lado, a amostragem do solo se mostrou uma prática mais comum, feita, em média, a cada dois anos pelos avaliados. A análise de solo requer critérios para melhor evidenciar suas características, em busca de evitar adubação e calagem incorretas. A análise foliar é importante para complementar a análise do solo, pois identifica a necessidade de ajustes e dosagem em macro e micronutrientes (Rezende, 2022; Viçosi et al., 2022).

A gestão dos custos e receitas das atividades agrícolas foi um dos principais desafios para as propriedades 2, 3, 4, 6 e 7 (Figuras 4B, 4C, 4D, 4F e 4G), que obtiveram nota zero. Fazer anotações dos itens básicos que compõem o custo da produção do café, como anotar as datas e serviços realizados, os insumos adquiridos e os locais onde foram aplicados, pode melhorar a organização e a gestão das fazendas. A ausência dessas práticas pode ser explicada pelo baixo nível de escolaridade e pela deficiente

qualificação/treinamento dos cafeicultores em atividades administrativas e de gestão das atividades agrícolas (Diniz *et al.*, 2015).

Em relação aos eixos ambiental e social, a pesquisa demonstrou que a maioria dos produtores não possui treinamentos de capacitação para o uso de máquinas agrícolas manuais, não fazem a armazenagem correta dos grãos de café, não realizam a devolução de embalagens e nem a aplicação com uso do equipamento individual de proteção de produtos fitossanitários, principalmente devido ao manejo convencional adotado como tradição nas propriedades cafeeiras (Viçosi et al., 2022; Zandonadi et al., 2022).

Nesse sentido, fica evidente que valorizar a produção de café que traga retorno economicamente satisfatório é capaz de agregar valor também às dimensões ecológica e social da sustentabilidade nas propriedades (De Muner et al., 2017a; Viçosi et al., 2022; Zandonadi et al., 2022). A importância da melhoria da qualidade do café nas propriedades é tão necessária que, em 2007, a Associação Brasileira da Indústria de Café (Abic) lançou o Programa Cafés Sustentáveis do Brasil (PCS) com a proposta de

introduzir o mercado brasileiro na nova tendência mundial, que consiste no consumo consciente: produtos que são adquiridos porque, comprovadamente, foram feitos levando em conta a sustentabilidade econômica, social e ambiental (Abic, 2022).

De acordo com a cartilha "Café arábica: produza o seu especial", do Incaper, colher o café na hora certa e com maior concentração de frutos cereja maduros faz muita diferença, pois quando os frutos são colhidos ainda verdes ou secos perdem peso e apresentam ainda mais defeitos. A maior porcentagem de defeitos, denominados pretos, verdes e ardidos que aparecem com frequência no café, além de prejudicar a qualidade do produto final, pesa menos que os grãos normais (Alixandre et al., 2022).

A melhoria da qualidade dos produtos não é condição necessária somente para a exportação, mas também para o atendimento do mercado consumidor interno que tem se mostrado cada vez mais exigente, desempenhando papel fundamental para a adoção de inovações tecnológicas. Atualmente, existe um conjunto de torrefadores, cafeterias e consumidores que buscam e valorizam cafés especiais, movidos pela "terceira onda do café", que tem uma variedade de formatos e propostas: origem, processo, fermentações e certificações (Guimarães; Castro Júnior; Andrade, 2016; Conceição J.; Ellery Junior; Conceição P., 2019).

Com a aplicação da planilha de sustentabilidade, é possível verificar pontos nos quais são necessárias atenções específicas para a produção de cafés especiais, com destaque às boas práticas agrícolas de colheita e póscolheita, manejo integrado de pragas e doenças, manejo e controle da conservação do solo e controle na análise de solo e folhas. Esses são fatores fundamentais para a obtenção de cafés que apresentam bebidas de qualidade superior (Martinuzzo et al., 2021).

O segmento de cafés especiais surge no cenário brasileiro como uma possibilidade aos cafeicultores de conquistar compradores que estejam dispostos a pagar mais por um produto de qualidade e com característica diferenciada. A qualidade do café depende mais da genética do grão, localização, microclima da região e técnica de manejo no processo de produção do que exclusivamente do capital empregado (Oliveira J.; Oliveira S.; Jesus, 2004; Kalil Filho, 2014).

Essa discussão se torna evidente ao se analisar as médias dos preços de café arábica praticados no Estado do Espírito Santo. Em 2019, o café tipo bebida dura teve preço médio de R\$ 400,32, enquanto o café tipo bebida rio teve média de R\$ 319,76. Em 2020, todos os tipos de café registraram alta nas suas cotações médias anuais, com destaque para café bebida dura com preço de R\$ 486,00, que correspondeu a uma alta de 21% em relação à média do ano anterior. O café arábica bebida rio teve um preço médio de R\$ 375,00, elevando-se 17% em relação à média de 2019 (CCCV, 2021).

O predomínio da cafeicultura tradicional dificulta a inserção de tecnologias, tratos culturais e manejos sustentáveis na cultura do café arábica. Uma das principais dificuldades dos produtores é a baixa diversificação de cultivares, com pouco incentivo a novas espécies e formas de cultivo (De Muner et al., 2017a; Zandonadi et al., 2022). A utilização de cultivares resistentes é a melhor estratégia para o controle da ferrugem do cafeeiro, pois minimiza o uso de defensivos agrícolas, o que reduz os custos de produção e os riscos de contaminação do meio ambiente. Além dessas vantagens, as cultivares de café arábica resistentes à ferrugem têm apresentado algumas características iguais ou superiores às cultivares tradicionalmente plantadas, como: potencial produtivo, qualidade superior de bebida, além de outras vantagens agronômicas (Embrapa, 2021). Seguindo esse raciocínio, Pereira et al. (2010) afirmam que a diferenciação de cultivares emergiu como possibilidade de desenvolver vantagens competitivas e sustentar margens de lucro mais satisfatórias ao segmento produtivo.

O aumento da demanda por cafés diferenciados – orgânicos, descafeinados, estate coffees e cafés gourmet – é notável e fomenta novos campos organizacionais no complexo cafeeiro (Conceição J.; Ellery Junior; Conceição P., 2019). Ademais, a atuação em mercados específicos, diferente do que ocorre no mercado das commodities, permite a negociação direta entre produtores e consumidores e um relacionamento diferenciado entre esses atores, que agora têm maior facilidade de acesso a mercados internacionais e menor relação de dependência de canais tradicionais de comercialização (Zylbersztajn; Farina, 2001; Pereira et al., 2010).

Apesar da importância da certificação quanto ao aumento das preocupações com o meio ambiente e a saúde dos consumidores de café, o aspecto econômico é a principal motivação dos produtores para a certificação do café (Ibnu et al., 2015). Ao fazer uma análise sob o ponto de vista dos produtores familiares, a certificação pode garantir o acesso a mercados internacionais mais exigentes e dispostos a pagar mais pelo produto, além de agregar valor à produção (Cabrera; Caldarelli, 2021). Nesse processo, pode-se observar que os consumidores incorporam seus valores morais aos hábitos de compra. Assim, de um lado existem pequenos produtores rurais com responsabilidade socioambiental e de outro, consumidores igualmente responsáveis. (Kalil Filho, 2014).

Por outro lado, Akenroye et al. (2021) buscaram as razões que levam um agricultor à adoção ou não de práticas ambientalmente saudáveis. A falta de conhecimento foi a principal barreira para a não adoção, além da desistência quando o custo de implementação excede os benefícios percebidos. Assim, observa-se que os fatores contextuais, atitudinais, institucionais e locais dos pequenos produtores afetam diretamente a adoção de práticas agrícolas sustentáveis.

Os custos de produção se apresentam mais onerosos para os pequenos produtores. É evidente que as oscilações do mercado afetam principalmente a agricultura familiar que não dispõe de tecnologia e recursos suficientes para se tornarem competitivos, visto que na atual conjuntura do cenário internacional, se o pequeno produtor não for capaz de alcançar um índice de produtividade acima de 30 sacas/hectare, não sobreviverá ao mercado por muito tempo (Bessa, 2013; Kalil Filho, 2014).

Dessa forma, é esperado que os agricultores não deixem de cultivar o café *commodity*, mas aqueles que forem capazes de produzir grãos de alta qualidade e de forma sustentável, segundo o padrão demandado pelo mercado internacional, conseguirão se manter no mercado e agregar valor ao café (Kalil Filho, 2014).

#### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A metodologia utilizada no desenvolvimento do projeto, a qual destaca a adequação econômica, ambiental e social

das propriedades, mostrou-se eficiente para diagnosticar os níveis de sustentabilidade das propriedades.

Através do diagnóstico, identificou-se que as principais necessidades de intervenção para melhorar os níveis de sustentabilidade das propriedades estão relacionadas aos padrões econômicos, seguidos pelos ambientais e sociais. De maneira geral, as maiores defasagens estão relacionadas à gestão da qualidade dos grãos de café, custos e receitas de produção, melhoria nos processos de colheita e pós-colheita, treinamento em máquinas manuais e uso e aplicação corretos de defensivos.

Intervenções individualizadas nas propriedades são necessárias, entretanto, devem ser respeitadas as limitações, características e os valores da família, visto que as modificações iniciais precisam ser elaboradas, treinadas e realizadas com a maior segurança e confiança por parte dos agricultores, devido à nova experiência com assuntos poucos conhecidos por todos. Diferentes técnicas de intervenção devem ser utilizadas em cada propriedade para atingir os níveis máximos de adequação, seguindo os critérios de sustentabilidade.

As intervenções sugeridas tendem a aumentar a produção de cafés especiais nas propriedades estudadas e adequá-las às exigências de diversas certificadoras internacionais de café, que as torna aptas para a exportação de cafés especiais para novos mercados, principalmente pela agregação de valor aos grãos de café.

Dessa forma, será possível preparar essas propriedades para a certificação de terceira parte, agregar renda à propriedade rural, aumentar a qualidade de vida da família dos agricultores e de seus parceiros, bem como permitirá maiores investimentos na preservação ambiental, de forma a aumentar a sustentabilidade das propriedades.

#### **CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES**

GUARÇONI, R. C.; ALIXANDRE, F. T.; MARTINUZZO, M. B. e FORNAZIER, M. J. elaboraram o projeto. VIÇOSI, D. B.; ZANDONADI, C. U.; KROHLING, C. A.; FERREIRA, C. C.; ROSSI, V. S. e PAULA, E. de. coletaram os dados no campo. GUARÇONI, R. C. analisou estatisticamente os dados. VIÇOSI, D. B.; ZANDONADI, C. U.; GUARÇONI, R. C. e FORNAZIER, M. J. revisaram a literatura. Todos os autores

elaboraram o artigo. FORNAZIER, M. J. e GUARÇONI, R. C. elaboraram o resumo e FORNAZIER, M. J. elaborou o abstract.

#### **CONFLITO DE INTERESSES**

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

#### **AGRADECIMENTOS**

À Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (Seag-ES) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Espírito Santo (Fapes) pelo apoio financeiro desta pesquisa, pela concessão de bolsa-coordenador a Rogério C. Guarçoni e das bolsas de pesquisa para Cecília U. Zandonadi e David B. Viçosi (Portaria nº 002-R/2020, Processo: 2020-CHJ7V, Termo de Outorga 581/2020). Às secretarias municipais de Agricultura e de Meio Ambiente dos municípios de Afonso Cláudio, Brejetuba, Conceição do Castelo, Marechal Floriano e Venda Nova do Imigrante pela parceria e dedicação na realização do projeto.

#### REFERÊNCIAS

ABIC (Associação Brasileira da Indústria de Café). **Indicadores da indústria de café**. Rio de Janeiro: ABIC, 2018. Disponível em: https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2018-2/. Acesso em: 15 abr. 2022.

ABIC (Associação Brasileira da Indústria de Café). **Certificação:** sustentabilidade. Rio de Janeiro: ABIC, 2022. Disponível em: https://www.abic.com.br/certificacoes/sustentabilidade/. Acesso em: 12 ago. 2022.

AKENROYE, T. O.; DORA, M.; KUMAR, M.; ELBAZ, J.; KAH, S.; JEBLI, F. A taxonomy of barriers to the adoption of sustainable practices in the coffee farming process. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, p. 1–13, 20 ago. 2021. DOI https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127818. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621020369?via%3Dihub. Acesso em: 29 jul. 2022.

ALIXANDRE, F. T.; DE MUNER, L. H.; KROHLING. C. A.; FERRÃO, M. A. G.; FORNAZIER, M. J. **Cafeicultura sustentável:** boas práticas agrícolas para o café arábica. Vitória, ES: Incaper, 2020. 48 p. (Incaper. Documentos, 269).

ALIXANDRE, F. T.; MARTINUZZO, M. B.; SOUSA, D. G.; KROHLING, C. A.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. A.; FORNAZIER, M. J.; VERDIN FILHO, A. C.; DE MUNER, L. H., GUARÇONI, R. C. **Café arábica:** produza o seu especial. Vitória, ES: Incaper, 2022. ISSN 1519–2059. (Incaper, Documentos, 287).

BARBOSA, P. M. S.; VALENTE, M. E. R. Considerações sobre sinais distintivos de uso coletivo: indicações geográficas, marcas coletivas e a possibilidade de valorização de uma coletividade. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 11 e 12, p. 61–78, jan. 2020/dez. 2021. ISSN 2179–5304. DOI: 10.54682/ier.v11e12–p61–78. Disponível em: https://biblioteca.incaper. es.gov.br/busca?b=ad&id=23769&biblioteca=vazio&busca=incaper%20 em%20revista&qFacets=incaper%20em%20 revista&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1. Acesso em: 29 jul. 2022.

BARRA, G. M. J.; LADEIRA, M. B. Modelo de maturidade para processos de certificação no sistema agroindustrial do café. **REGE – Revista de Gestão**, Belo Horizonte, MG, v. 24, p. 134–148, 2017. DOI https://doi.org/10.1016/j.rege.2017.03.004. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1809227617300619?via%3Dihub. Acesso em: 29 jul. 2022.

BESSA, F. Consórcio Pesquisa Café intensifica esforços em prol da qualidade e gestão das propriedades cafeeiras. **Embrapa:** notícias, 10 jan. 2013. Disponível em: http://www.sapc.embrapa. br/antigo/index.php/ultimas-noticias/consorcio-pesquisa-cafeintensifica-esforcos-em-prol-da-qualidade-e-gestao-das-propriedades-cafeeiras. Acesso em: 12 ago. 2022.

BORÉM, F.M. **Protocolo de identidade, qualidade e** rastreabilidade para embasamento da indicação geográfica dos cafés da Mantiqueira. Lavras: Editora da UFLA, 2012.

BRASIL. **Lei n° 11.326, de 24 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União, Brasília: Congresso Nacional, 2006.

BSCA (Associação Brasileira De Cafés Especiais). **O que é café especial?** 2018. Disponível em: http://www.bsca.com.br/. Acesso em: 19 jul. 2022.

CABRERA, L. C.; CALDARELLI, C. E. Viabilidade econômica de certificações de café para produtores brasileiros. **Revista de Política Agrícola**, v. 30, ed. 4, p. 64–76, 2021.

CALIMAN, O. Formação Econômica do Espírito Santo: de fragmentos do período colonial à busca de um projeto de desenvolvimento. **Revista Interdisciplinar de Gestão Social**, Salvador, BA: RIGS, UFB, v. 1, n. 2, p. 37–63, 2012.

CASTRO, C. V.; LIRA, J. M. S.; SALGADO, E, G.; BEIJO, L. A. A melhoria contínua na certificação das fazendas de café: um estudo de caso no sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 13, n. 4, p. 539–549, 2018.

CCCV (Centro de Comércio De Café De Vitória). **Médias Mensais de Preços de Café em 2020**. Circular Presidente n.º 002/21. Vitória, 18 de janeiro de 2021. Disponível em: http://www.cccv.org.br/cotacao/cotacoes-antigas/. Acesso em: 03 ago. 2022.

CECAFÉ (Centro dos Exportadores de Café do Brasil). **Relatório de Exportações Brasileiras**, 2022. São Paulo: Cecafé, 2022. Disponível em: www.cecafe.com.br. Acesso em: 14 jul. 2022.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Boletim da Safra Brasileira de Café**. Brasília: Conab, 2022. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe. Acesso em: 25 ago. 2022.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. da; ELLERY JUNIOR, R. G. de; CONCEIÇÃO, P. H. Z. da. Cadeia agroindustrial do café no Brasil: agregação de valor e exportação. **Boletim de Economia e Política Internacional**, n. 24, p. 37–47, 2019. Disponível em: BEPI\_n24\_Cadeia.pdf (ipea.gov.br). Acesso em: 29 jul. 2022.

DE MUNER, L. H.; CAPORAL, F. R.; FORNAZIER, M. J.; RONCA, P. P. F.; BRANDO, J. A. P.; PADOVAN, M. P. Cafeicultura Sustentável do Conilon. *In*: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G; DE MUNER, L. H. (org.). **Café conilon**. 2. ed. Vitória, ES: Incaper, 2017a. p. 621–653.

DE MUNER, L. H.; FORNAZIER, M. J.; ALIXANDRE, F. T.; DONNA, J. U.; PADILLA, M. C.; PADOVAN, M. P.; SCHMIDT, H. C.; MELO, E. V. Certificação do Conilon e Experiência do Espírito Santo. *In:* FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G; DE MUNER, L. H. (org.). **Café conilon**. 2. ed. Vitória, ES: Incaper, 2017b. p. 655–666.

DIAS, R. S.; ALIXANDRE, F. T.; FORNAZIER, M. J.; KROHLING, C. A.; GURAÇONI, R. C.; DE MUNER, L. H. Indicação Geográfica: Café Montanhas Do Espírito Santo. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 11 e 12, p. 06–24, jan. 2020/dez. 2021. ISSN 2179–5304 / DOI: 10.54682/ier. v11e12–p06–24. Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov. br/busca?b=ad&id=23769&biblioteca=vazio&busca=incaper%20 em%20revista&qFacets=incaper%20em%20 revista&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1. Acesso em: 29 jul. 2022.

DINIZ, F. H.; BERNARDO, W. F.; TEIXEIRA, S. R.; MOREIRA, M. S. de P. Fundamentos e perspectivas do desenvolvimento sustentável e do uso de indicadores de sustentabilidade em propriedades leiteiras. *In*: MARTINS, P. do C.; PICCININI, G. A.; KRUG, E. E. B.; MARTINS, C. E.; LOPES, F. C. F. **Sustentabilidade ambiental**, **social e econômica da cadeia produtiva do leite:** desafios e perspectivas. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 215–236.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Cultivares de café resistentes à ferrugem: alternativa viável para a cafeicultura das Matas de Minas**. OLIVEIRA, A. C. B., *et al*. Brasília, DF: Embrapa Café, 2021. PDF (46 p.) – (Documentos / Embrapa Café). ISSN 1678–1694, 15.

FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations). **SAFA – Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems: guidelines.** 3. ed. Roma, Itália: FAO, 2014. Disponível em: https://www.fao.org/3/i3957e/i3957e.pdf. Acesso em: 18 jun. 2022.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. Coffea canephora. **Café Conilon**, ed. 2, p. 37–50, Vitória, ES: Incaper, 2017.

GUIMARÃES, E. R; CASTRO JÚNIOR, L. G; ANDRADE, H. C. C. de. A terceira onda do café em Minas Gerais. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 18, n. 3, p. 214–227, 2016. ISSN: 1517–3879. Disponível em: https://www.redalyc.org/articulo.oa/id=87849440002. Acesso em: 29 jul. 2022.

IBNU, M.; GLASBERGEN, P.; OFFERMANS, A.; ARIFIN, B. Farmer preferences for coffee certification: a conjoint analysis of the Indonesian smallholders. **Journal of Agricultural Science**, v. 7, p. 20–35, 2015. DOI: https://doi.org/10.5539/jas.v7n6p20. Disponível em: https://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/44952/26155. Acesso em: 29 jul. 2022.

INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural). **Arábica:** produza seu café com excelência de qualidade. Vitória, ES: Incaper, 2013. ISSN 1519–2059. (Incaper. Documentos, 217).

KALIL FILHO, I. Comércio justo e solidário: tendências macroeconômicas da sustentabilidade socioambiental como valor agregado ao café oriundo da agricultura familiar no Brasil. Orientador: Profa. Dra. Ana Tereza Jacintho. 2014. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Econômicas) – Centro Universitário de Franca, Franca, São Paulo, 2014.

LEME, P. H. M. V.; PINTO, C. L. Qualidade e sustentabilidade: sistemas de certificação do café sob a ótica dos Pilares da Qualidade. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 4, 2018. DOI: 10.18406/2316-1817v10n420181159. Disponível em: https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1159. Acesso em: 29 jul. 2022.

MACHADO, R. T. M. **Rastreabilidade, tecnologia da informação e coordenação de sistemas agroindustriais**. 2000. Tese (Doutorado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. DOI:10.11606/T.12.2000.tde-27122002-151411. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-27122002-151411/pt-br.php. Acesso em: 29 jul. 2022.

MARTINUZZO, M. B.; ALIXANDRE, F. T.; KROHLING, C. A.; VERDIN FILHO, A. C.; SOUSA, D. G.; FORNAZIER, M. J.; GUARÇONI, R. C.; DE MUNER, L. H. **Sistema para avaliação de indicadores de sustentabilidade da cafeicultura do Espírito Santo**. Vitória, ES: Incaper, 2021. 14 p. (Incaper, Documentos, 283).

MESQUITA, C. M.; REZENDE, J. E.; CARVALHO, J. S.; FABRI JÚNIOR, M. A.; MORAES, N. C.; DIAS, P. T.; CARVALHO, R.M.; ARAÚJO, W. G. **Manual do café:** distúrbios fisiológicos, pragas e doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Minas Gerais: Emater, 2016. 52 p.

OLIVEIRA, A. C. B.; PEREIRA, A. A.; CAIXETA, E. T.; RESENDE, M. D. V.; RIBEIRO, M. F. **Cultivares de café resistentes à ferrugem:** alternativa viável para a cafeicultura das Matas de Minas. Brasília: Embrapa, 2021. (Embrapa, Documentos, 15).

OLIVEIRA, J. L. R.; OLIVEIRA, S. L.; JESUS, J. C. S. Análise de fatores mercadológicos para a formação de preço do café especial. *In*: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, 7., 2004, São Paulo. **Anais** [...] São Paulo: FEAUSP, 2004. 1 CD–ROM.

ONU (Organização Das Nações Unidas). **A ONU e o meio ambiente**. 2018. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – As Nações Unidas no Brasil. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 18 jul. 2022.

PEREIRA, V. F.; VALE, S. M. L. R.; BRAGA, M. J.; RUFINO, J. L. S. Riscos e retornos da cafeicultura em Minas Gerais: uma análise de custos e diferenciação. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 657–678, 2010.

REZENDE, JE. **Série Tecnológica Cafeicultura:** Amostragem de solos. Minas Genrais: Emater, 2022. p. 1–6.

SCAA (Specialty Coffee American Association). **Protocolo** para análise sensorial de café Metodologia SCAA. SCAA, 2008. Disponível em: http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAA\_CuppingProtocols\_TSC\_DocV\_RevDec08\_Portuguese.pdf. Acesso em: 18 jul. 2022.

SCHMIDT, H. C.; DE MUNER, L. H.; FORNAZIER, M. J. Cadeia produtiva do café arábica da agricultura familiar no Espírito Santo. Vitória, ES: Incaper, 2004. 52 p.

SILVA, J. S.; FILHO, A. F. L.; RUFFATO, S.; BERBERT, P. A. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2. ed., cap. 17. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2008. p. 439–469.

SILVA, A. E. S.; MASO, L. J.; COSTA, E. B.; BASSANI, L. A.; GALEANO, E. A. V. Importância econômica e social do café conilon no Estado do Espírito Santo. **Café Conilon**. 2. ed., p. 55–67. Vitória – ES: Incaper, 2017.

SIQUEIRA, H. M.; SOUZA, P. M.; PONCIANO, N. J. Café convencional versus café orgânico: perspectivas de sustentabilidade socioeconômica dos agricultores familiares do Espírito Santo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 2, p. 155–160, mar./abr. 2011.

SOUZA, M. A.; SIMÃO, J. B. P.; SILVA, M. V.; ZANUNCIO JUNIOR, J. S. Denominação de origem Caparaó para café arábica. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 11 e 12, p. 49–60, jan. 2020/dez. 2021. DOI: 10,54682/ie.v11e12–p49–60. Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=23769&biblioteca=vazio&busca=incaper%20 em%20revista&qFacets=incaper%20em%20 revista&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1. Acesso em: 29 jul. 2022.

TRISTÃO, F. A.; KROHLING, C. A.; DE MUNER. L. H.; SOUZA, M. F.; FORNAZIER, M. J. Tendências para a sustentabilidade do café arábica em regiões serranas. **Incaper em Revista**, n. 10, p. 105–124, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338802522\_Trends\_for\_sustainability\_of\_arabica\_coffee\_in\_highland\_regions\_Tendencias\_para\_a\_sustentabilidade\_da\_cafeicultura\_de\_arabica\_em\_regioes\_de\_montanha. Acesso em: 29 jul. 2022.

VELOSO, T. G. R.; SILVA, M. C. S.; CARDOSO, W. S.; GUARÇONI, R. C.; KASUYA, M. C. M.; PEREIRA, L. L. Effects of environmental factors on microbiota of fruits and soil of *Coffea arabica* in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 14692, 2020.

VIÇOSI, D. B.; ZANDONADI, C. U.; ROSSI, V. S.; SILVA, W. Z.; ALIXANDRE, F. T.; KROLING, C. A.; FERREIRA, C. C.; PAULA, E.; MARTINUZZO, M. B.; SOUZA, D. G.; FORNAZIER, M. L.; DE MUNER, L. H.; ALIXANDRE, R. D.; MACETTE, H. A.; MARTINS, D. S.; FAVARATO, L. F.; FORNAZIER, M. J.; GUARCONI, R. G. Establishing the initial benchmark for the sustainability of Arabica coffee-growing householders in a highland region, Brazil. International Journal of Advanced Engineering Research and Science, v. 9, p. 69–82, 2022. DOI https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.94.7. Disponível em: https://ijaers.com/detail/establishing-the-initial-benchmark-for-the-sustainability-of-arabica-coffee-growing-householders-in-a-highland-region-brazil/. Acesso em: 20 dez. 2022.

ZANDONADI, C. U.; VIÇOSI, D. B.; FONTAN, A. M. M.; FERREIRA, C. C.; ALIXANDRE, F.T.; KROHLING, C. A.; ROSSI, V.S.; PAULA, E.; VERDIN FILHO, A.C; FORNAZIER, M. L; BOTACIM, L. A.; ALIXANDRE, R. D.; MARTINS, D. S.; FORNAZIER, M. J.; GUARÇONI, R. G. Assessing the sustainability of Arabica coffee–growing householders in the Montanhas do Espírito Santo' geographic indication region, Brazil: an integrated case study. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e438111133880, 2022. DOI http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33880. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33880. Acesso em: 20 dez. 2022.

ZYLBERSZTAJN, D.; FARINA, E. M. M. Q. Diagnóstico sobre o sistema agroindustrial de cafés especiais e qualidade superior do Estado de Minas Gerais: relatório final PENSA/FEA/USP. São Paulo: USP, 2001. 152 p.

# DESEMPENHO AGRONÔMICO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE COMPOSTO ORGÂNICO QUE CONTÉM BORRA DE CAFÉ NA ADUBAÇÃO DA CULTURA DO MILHO

Leonardo Moreira Borges de Souza¹; Guilherme Lopes²; João Batista Silva Araújo³; Luiz Fernando Favarato⁴; Rogério Carvalho Guarçoni⁵

Resumo - A geração de subprodutos pelos processos industriais é uma realidade e tem sido um grande desafio no que tange ao tratamento e destinação final adequada desses materiais. A borra de café é o principal resíduo gerado na agroindústria do café solúvel, e a compostagem é uma das alternativas para o seu tratamento e destinação final, com o uso posterior do composto como fertilizante orgânico. A compostagem é considerada uma técnica que converte resíduos agroindustriais em um produto com valor nutricional para as plantas, estável e isento de contaminantes. Está em operação, na Fazenda Experimental de Viana (FEV), localizada no Município de Viana-ES, uma usina de compostagem destinada a solucionar o problema de destinação de resíduos gerados na fabricação do café solúvel por uma agroindústria de café. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do composto orgânico produzido a partir de resíduos da borra de café para ser utilizado como adubo no cultivo do milho. Comparou-se o uso de diferentes doses de aplicação do composto em complementação à adubação mineral. Foram avaliados parâmetros agronômicos, como a produtividade da planta, e feita uma avaliação econômica de cada tratamento. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e cinco tratamentos, com o cultivo do milho, da cultivar INCAPER ES 203, em sistema irrigado. Os tratamentos foram: 1) 100% de composto orgânico; 2) 75% de composto orgânico + 25% de adubação mineral; 3) 50% de composto orgânico + 50% de adubação mineral; 4) 25% de composto orgânico + 75% de adubação mineral; e 5) 100% de adubação mineral. Os tratamentos foram submetidos e comparados estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Como resultado, os tratamentos que receberam o composto orgânico apresentaram desempenho no desenvolvimento e na produtividade do milho inferior ao tratamento que recebeu apenas adubação mineral. Na avaliação da produtividade em grãos, os tratamentos 4 e 5 apresentaram maiores produtividades, diferindo estatisticamente dos demais. Os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si na avaliação econômica, isso demonstrou a viabilidade de se aplicar o composto orgânico. Concluiu-se, com este estudo, que o composto orgânico contendo borra de café apresentou resultados satisfatórios para a adubação da cultura do milho, principalmente quando utilizado de forma complementar à adubação mineral. O uso do composto orgânico, puro ou em associação à adubação mineral, mesmo apresentando menores produtividades, demonstrou viabilidade econômica quando comparado ao tratamento com adubação mineral, devido ao seu menor custo de adubação.

Palavras-chaves: Adubação orgânica. Compostagem. Subprodutos agroindustriais.

## AGRONOMIC PERFORMANCE AND ECONOMIC EVALUATION OF ORGANIC COMPOST CONTAINING COFFE GROUNDS IN CORN FERTILIZATION

**Abstract** – The generation of by–products from industrial processes is a reality and has been a major challenge concerning the treatment and proper final destination of these materials. Coffee grounds are the chief waste generated in the instant coffee agro–industry, and composing is one of the alternatives for their management and final destination, with the subsequent use of the compost as an organic fertilizer. Composting is a technique that converts agro–industrial waste into a product with nutritional value for plants, stable and free of contaminants. A composting plant operates at the Viana Experimental Farm (FEV), which belongs to the Capixaba Institute of Research, Technical Assistance, and Rural Extension (Incaper) in Viana–ES.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>M.Sc. Tecnologias e Inovações Ambientais, Extensionista Incaper, leonardo.souza@incaper.es.gov.br

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>D.Sc. Ciência do Solo, Professor Adjunto da Universidade Federal de Lavras (UFLA)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> D.Sc. Fitotecnia, Pesquisador Incaper

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> D.Sc. Fitotecnia, Pesquisador Incaper

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> D.Sc. Produção Vegetal, Pesquisador Incaper

The plant aims to solve the problem of disposing of the waste generated in the manufacture of soluble coffee by a coffee agro-industry. This study aimed to assess the potential of the organic compost produced from coffee grounds waste used as fertilizer for growing maize. We compared the use of different doses of compost in addition to mineral fertilization. Agronomic parameters were assessed, such as plant productivity, and an economic evaluation of each treatment was carried out. The experiment was conducted in a randomized block design, with four replications and five treatments, with maize of the INCAPER ES 203 cultivar grown in an irrigated system. The treatments were: 1) 100% organic compost; 2) 75% organic compost + 25% mineral fertilizer; 3) 50% organic compost + 50% mineral fertilizer; 4) 25% organic compost + 75% mineral fertilizer; and 5) 100% mineral fertilizer. The treatments were statistically compared using the Scott-Knott test at 5% probability. As a result, the treatments that received the organic compost presented inferior performance in the development and in the corn productivity to the treatment that received only mineral fertilization. In the evaluation of grain yield, treatments 4 and 5 showed the highest yields, differing statistically from the others. The treatments did not differ statistically in the economic evaluation. Thus, they demonstrated the viability of applying organic compost. This study concluded that organic compost containing coffee grounds showed satisfactory results for fertilizing maize crops, especially when it is used in addition to mineral fertilizer. The use of pure organic compost or in association with mineral fertilization, even though it showed lower yields, proved to be economically viable compared to the treatment with mineral fertilization, due to its lower fertilization cost.

Keywords: Composting. Organic fertilization. Agro-industrial by-product.

#### INTRODUÇÃO

A geração de resíduos pelos processos industriais é um grande desafio no que tange ao seu tratamento e destinação final adequados, devido aos efeitos nocivos que podem trazer ao meio ambiente, se tratados ou descartados de forma inadequada. A crescente preocupação com o meio ambiente faz com que, cada vez mais, órgãos governamentais e setor privado se unam para a promoção de políticas públicas e ações para diminuir os impactos negativos das atividades econômicas e industriais que tenham potencial poluidor. No Brasil, diversas formas de produção agroindustrial acontecem de maneira paralela à produção agrícola. Em grande parte, o beneficiamento desses produtos irá gerar, inevitavelmente, diversos tipos de resíduos.

O café é uma das commodities agrícolas mais valiosas do mercado internacional, com a sua exportação mundial atingindo a marca de 10,21 milhões de sacas em janeiro de 2021 (ICO, 2021). Ele é comumente comercializado na forma de grãos, em pó, ou em café solúvel, e é a segunda bebida mais consumida no Brasil (Abic, 2018). O Brasil exportou 4,09 milhões de sacas de 60 kg de café solúvel em 2021 (Abics, 2022), o que evidencia o grande volume desse produto na participação da comercialização brasileira.

A borra de café ou lodo de café é o principal resíduo gerado na indústria de café solúvel e é, normalmente,

destinada aos aterros sanitários e lixões (Kondamudi; Mohapatra; Misra, 2008). No entanto, essa destinação gera custos, tanto financeiros quanto ambientais. Considerando que, no caso de alguns subprodutos agroindustriais, ela pode ser evitada por meio do aproveitamento adequado desses resíduos, torna-se fundamental buscar novas soluções para essa destinação. Devido à borra de café ser oriunda dos grãos de café, infere-se que suas propriedades possam ser exploradas para diferentes destinos industriais (Ballesteros; Teixeira; Mussatto, 2014).

Um dos usos possíveis para esse resíduo ou subproduto seria na agricultura, para servir de adubo na forma de composto orgânico. A compostagem, por sua vez, pode ser considerada uma técnica que converte resíduos agroindustriais em um produto com valor nutricional para as plantas, estável, isento de contaminantes e que pode ser utilizado como condicionador de solos e fertilizante (Ros et al., 2006).

Recentemente, em parceria com a Prefeitura Municipal de Viana (PMV) e a Realcafé (indústria de café solúvel), foi implantada na Fazenda Experimental de Viana (FEV), que pertence ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e está localizada no Município de Viana-ES, uma usina de compostagem para solucionar o problema de descarte de resíduos de agroindústria do café, principalmente a borra de café,

gerados pela empresa Realcafé na fabricação do café solúvel. Na usina, esses resíduos são misturados a resto de poda, serragem e casca de café para a obtenção do composto orgânico após o processo da compostagem. Esse composto é distribuído para os agricultores de base familiar do município e dos municípios vizinhos para a sua utilização como fertilizante orgânico nas lavouras. Entretanto, faz-se necessária a adequação dos processos da usina, bem como a avaliação do composto gerado e a obtenção de recomendações gerais para a aplicação desse composto nas lavouras agrícolas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial, produtivo e econômico, de uso do composto orgânico oriundo do subproduto da borra de café para ser utilizado como fonte de nutrientes na adubação da cultura do milho ao ser aplicado isoladamente ou em diferentes proporções com adubos minerais.

#### MATERIAL E MÉTODOS

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental de Viana (FEV), do Incaper, nas coordenadas 20°22′23′′S; 40°30′58′′O, localizada no Município de Viana–ES, região Metropolitana da Grande Vitória. A usina para a produção de composto orgânico do experimento está localizada na mesma fazenda, nas coordenadas 20°22′18′′S; 40°31′01′′O.

O solo em que foi instalado o experimento foi classificado como Neossolo Flúvico (RY) distrófico, localizado em uma área de baixada, com topografia plana, de pouca declividade. O histórico de uso do solo é caracterizado pelo cultivo de feijão, milho e cana, sempre cultivados com o uso de adubação mineral.



**Figura 1 –** Visão geral da área do experimento. **Fonte**: Adaptado de Google Earth (2019).

Os resultados da análise química do solo, antes do cultivo do milho (experimento), encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos da análise de solo realizada na área experimental antes do cultivo do milho

Atributos	Unidade	Resultado
Fósforo Mehlich-1/	mg dm⁻³	25
Potássio (k) 1/	mg dm⁻³	150
Enxofre (S) 2/	mg dm⁻³	16
Cálcio (Ca) 3/	cmol <sub>c</sub> dm⁻³	1,6
Magnésio (Mg) 3/	cmol <sub>c</sub> dm⁻³	0,3
Alumínio (Al) 3/	cmol <sub>c</sub> dm⁻³	0,2
H + Al 4/	cmol <sub>c</sub> dm⁻³	3,8
pH em H <sub>2</sub> O 5/		5,5
Matéria orgânica 6/	dag kg <sup>-1</sup>	1,6
Ferro (Fe) 1/	mg dm⁻³	167
Zinco (Zn) 1/	mg dm⁻³	4,7
Cobre (Cu)	mg dm⁻³	2,2
Manganês (Mn)	mg dm⁻³	71
Boro (B) 7/	mg dm⁻³	0,52
Sódio (Na) 1/	mg dm⁻³	10
Relação Ca/Mg		5,3
Relação Ca/K		4,2
Relação Mg/K		0,8
Sat. Ca na CTC	%	26,3
Sat. Mg na CTC	%	4,9
Sat. K na CTC	%	6,3
Índice saturação Na	%	0,7
Soma de Bases (SB)	cmol <sub>c</sub> dm⁻³	2,3
CTC efetiva (t)	cmol <sub>c</sub> dm⁻³	2,5
CTC a pH 7,0 (T)	cmol <sub>c</sub> dm⁻³	6,1
Sat. alumínio (m)	%	8
Saturação de Bases (V)	%	38

Nota: 1/ Extração: HCI 0,05 mol/L +H $_2$ SO $_4$  0,025 mol/L; 2/ Extração: Ca(H $_2$ PO $_4$ ) $_2$  0,01 mol/L; 3/ Extração: KCI 1mol/L; 4/ Solução Tampão SMP; 5/ pH em H $_2$ O 1:2,5; 6/ Oxidação: Na $_3$ Cr $_2$ O $_7$ 2H $_3$ O + 4 mol/L H $_3$ SO $_4$ 10 mol/L; 7/ Extração: BaCl $_7$ 2H $_3$ O 0,125%.

#### COMPOSTO UTILIZADO NO EXPERIMENTO

A usina de compostagem, que está em operação na FEV, foi criada para possibilitar o aproveitamento do resíduo de borra de café, proveniente do processo da industrialização do café para a obtenção do café solúvel, em um composto orgânico com potencial de uso na agricultura. A empresa Realcafé gera, semanalmente, cerca de 60 toneladas de borra com a industrialização

do café solúvel. Esse resíduo é levado para a usina, onde é disposto no pátio de compostagem, em camadas alternadas com serragem, restos de podas e casca de café, para que ocorra uma mistura desses materiais.

No pátio de compostagem (Figura 2), os resíduos, depois de dispostos em camadas, são revirados por uma máquina que desliza pelo pátio de compostagem com o intuito de realizar o reviramento e a mistura da pilha, lentamente. Essa etapa dura duas semanas e o reviramento constante favorece para que a pilha de pré-composto saia do pátio de compostagem misturada e aerada. Depois, o material misturado e seco é retirado do pátio e é depositado em uma nova pilha, na qual

permanece por, aproximadamente, um mês, para então poder ser distribuído aos agricultores. Nessa etapa, ocorre decomposição em condições não controladas, sem reviramentos e irrigação da pilha.



**Figura 2** – Pátio de compostagem. **Fonte:** Acervo dos autores.

Como a usina está em processo de adequação das suas atividades, ainda não existe uma proporção exata dos materiais utilizados na mistura, porém, todo lote é feito com uma mistura que possibilite a obtenção de uma relação carbono/nitrogênio (relação C/N) na faixa de 25:1 a 35:1, tida como ótima para o início do processo da compostagem (Kiehl, 2004). No lote utilizado no experimento, a proporção dos materiais na mistura foi de 45% de borra de café, 35% de serragem, 15% de restos de poda de árvores e 5% de palha de café. A serragem, além de possuir elevada relação C/N, também facilita o

reviramento, diminui a formação de agregados grandes (placas) e facilita a aeração e secagem.

O composto usado no experimento foi coletado em 17 de dezembro de 2019. Foram coletadas oito amostras simples de forma aleatória sobre a pilha do lote do composto, de maneira a garantir amostras localizadas, tanto na parte mais externa como no interior da pilha, conforme as imagens da Figura 3. As amostras simples foram depositadas em um carrinho de mão e misturadas. Com isso, obteve-se uma amostra composta de, aproximadamente, 400 g, que foi enviada ao laboratório para análises.



**Figura 3 –** Coleta de amostra do lote de composto utilizado no experimento. **Fonte:** Acervo dos autores.

Os parâmetros que foram avaliados, para alguns dos materiais utilizados na formulação do lote do composto,

bem como a análise do composto que foi aplicado no experimento, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 –** Caracterização dos materiais utilizados e do composto produzido na FEV

(continua)

Parâmetros	Unidade	Palha de café	Restos de poda	Borra de café	Composto orgânico
Umidade a 60 – 65 °C	%	3,05	6,95	29,52	44,40
pH em CaCl <sub>2</sub>				7,05	7,20
CTC	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				455,00
Matéria orgânica Total	%	87,96	94,93	81,76	52,05
Matéria orgânica compostável	%	86,40	94,50	78,30	35,10
Carbono orgânico 1/	%	48,00	52,50	43,50	19,50
Relação C/N		13/1	36/1	12/1	10/1
Nitrogênio (N)2/	%	3,58	1,56	3,56	1,98
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )3/	%	0,43	0,22	0,54	1,00
Potássio (K <sub>2</sub> O)3/	%	3,09	1,13	0,75	1,36
Cálcio (Ca)3/	%	1,59	1,94	0,87	6,89
Magnésio (Mg)3/	%	0,66	0,20	0,11	0,94

(conclusão)

Parâmetros	Unidade	Palha de café	Restos de poda	Borra de café	Composto orgânico
Enxofre (S)3/	%			0,47	0,60
Ferro (Fe)3/	%			0,71	1,72
Zinco (Zn)3/	mg kg <sup>-1</sup>			38,2	111,8
Cobre (Cu)3/	mg kg <sup>-1</sup>			47,5	337,5
Manganês (Mn)3/	mg kg <sup>-1</sup>			94,7	1.368
Boro (B)4/	mg kg <sup>-1</sup>			4,1	26,0

Nota: 1/ Oxidação com Bicromato de potássio; 2/ Digestão sulfúrica; 3/ Digestão nitro-perclórica; 4/ Digestão seca.

#### **TRATAMENTOS**

No experimento realizado, foi avaliado o composto orgânico produzido na usina de compostagem da Fazenda Experimental de Viana. Esse composto foi utilizado na adubação da cultivar de milho INCAPER ES 203, como fonte única e como fonte complementar de nutrientes. Essa aplicação do composto orgânico foi comparada com a aplicação da adubação mineral. De acordo com a caracterização agronômica do composto, a análise de solo da área e as exigências de fertilidade para a cultura do milho, no Estado do Espírito Santo (Prezotti, 2010), foi calculada a dose total do composto necessária para fornecer todo o N requerido pela cultura. As exigências de NPK, consideradas para o cálculo das doses das adubações, foram de 110 kg ha-1 de N, 100 kg ha-1 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 70 kg ha-1 de K<sub>2</sub>O. Considerou-se o nitrogênio (N), nesse cálculo, por se tratar do macronutriente mais requerido pela cultura do milho e um dos que estão em maiores níveis no composto.

A calagem foi feita a lanço com a dose de 2,03 t ha-1 de calcário dolomítico, com PRNT de 96%. Foi utilizado para calcular a dose de calcário o método de saturação de bases, em busca de elevar o valor V para 70%, de acordo com Prezotti (2010). Os tratamentos receberam adubações do composto orgânico em dose única, no sulco de plantio e na ocasião da semeadura. As doses de composto foram alteradas de maneira decrescente, uma vez que um tratamento recebeu a dose total, apenas com o composto orgânico e sem nenhum tipo de complementação, e, desse ponto, foi diminuído 25% da dose do composto em cada tratamento e acrescentadas fontes minerais

de adubos NPK (ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio) de forma a completar os níveis de NPK exigidos pela cultura, até chegar na adubação puramente mineral. A adubação mineral foi feita em sulco, na ocasião do plantio, para o superfosfato simples e o cloreto de potássio. E a ureia foi parcelada em duas aplicações. A primeira, com 40% da dose total recomendada, aplicada aos 15 dias após a emergência das plantas e a segunda, com 60% da dose total recomendada, aplicada aos 40 dias após a emergência das plantas.

O tratamento que recebeu apenas o composto orgânico teve déficit no suprimento de fósforo (P) e suprimento excedente de potássio (K). O déficit de P se deve ao fato de que a dose de composto utilizada nesse tratamento não possui a quantidade de P necessária para suprir a exigência da cultura e não houve a complementação com fonte mineral, já que somente o composto orgânico foi utilizado. Como esse tratamento representa a forma de uso mais comum desse composto pelos agricultores da região, procurou-se não fazer ajustes na complementação dos outros macronutrientes, nesse caso, a fim de trazer maiores esclarecimentos sobre esse tipo de uso. O excedente de K se deu pelo fato de que, no cálculo das doses de composto utilizadas nos tratamentos, por se tratar do primeiro ano de cultivo, foi considerado um índice de conversão da forma orgânica para a mineral de 50% para o N e para o P, e de 100% para o K. Na Tabela 3, estão as quantidades de NPK em quilos por hectare requeridas pela cultura e consideradas para o cálculo das doses das adubações e as quantidades que foram fornecidas com as adubações dos diferentes tratamentos.

Tabela 3 - Quantidades de NPK requeridas pela cultura e fornecidas pelos diferentes tratamentos

	N (kg ha-1)	P205 (kg ha <sup>-1</sup> )	K20 (kg ha-1)
Quantidades requeridas pela cultura	110	100	70
Quantidades fornecidas T1	110	56*	151**
Quantidades fornecidas T2	110	100	113**
Quantidades fornecidas T3	110	100	75**
Quantidades fornecidas T4	110	100	70
Quantidades fornecidas T5	110	100	70

Nota: \* Ouantidades em déficit.

O experimento foi conduzido com delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições, o que resultou em 20 parcelas experimentais cultivadas com o milho 'INCAPER ES 203' em sistema irrigado. Os tratamentos são descritos a seguir:

- T1) 100 % de composto orgânico;
- T2) 75% de composto orgânico + 25% adubação mineral;
- T3) 50% de composto orgânico + 50% adubação mineral;
- T4) 25% de composto orgânico + 75% adubação mineral;
- T5) 100% de adubação mineral.

As doses das adubações, para cada tratamento, podem ser conferidas na Tabela 4, descritos abaixo:

As parcelas foram formadas com cinco fileiras de 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,2 m entre plantas, o que resultou em uma densidade de cultivo de 62.500 plantas por hectare. Para efeito de bordadura, foi desconsiderado 0,5 m da bordadura, com foco na avaliação das três fileiras centrais.

**Tabela 4 –** Doses das adubações em t ha-1, kg ha-1 e em g m-1 para cada tratamento

Tratamentos	Doses em kg ha <sup>-1</sup>	Doses em gm <sup>-1</sup>
T1	20 t ha <sup>-1</sup> do composto.	1.600 g m <sup>-1</sup> de composto.
T2	15 t ha <sup>-1</sup> do composto + 60 kg ha <sup>-1</sup> de ureia + 322 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato simples.	1.200 g m <sup>-1</sup> de composto + 5 g m <sup>-1</sup> de ureia (parcelado em 2 vezes) + 26 g m <sup>-1</sup> de superfosfato simples.
T3	10 t ha <sup>-1</sup> do composto + 120 kg ha <sup>-1</sup> de ureia + 400 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato simples.	800 g m <sup>-1</sup> de composto + 9,6 g m <sup>-1</sup> de ureia (parcelado em 2 vezes) + 32 g m <sup>-1</sup> de superfosfato simples.
T4	5 t ha <sup>-1</sup> do composto + 180 kg ha <sup>-1</sup> de ureia + 477 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato simples + 53 kg ha <sup>-1</sup> de KCL.	400 g m <sup>-1</sup> de composto + 14,5 g m <sup>-1</sup> de ureia (parcelado em 2 vezes) + 38 g m <sup>-1</sup> de superfosfato simples + 4,2 g m <sup>-1</sup> de KCL.
T5	0 t ha <sup>-1</sup> do composto + 240 kg ha <sup>-1</sup> de ureia + 555 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato simples + 117 kg ha <sup>-1</sup> de KCL.	0 g m <sup>-1</sup> do composto + 19,2 g m <sup>-1</sup> de ureia (parcelado em 2 vezes) + 44 g m <sup>-1</sup> de superfosfato simples + 9,5 g m <sup>-1</sup> de KCL.

Fonte: Elaborada pelos autores.

#### VARIÁVEIS ANALISADAS

Para avaliar possíveis diferenciações entre os tratamentos, as seguintes variáveis foram avaliadas neste trabalho: produtividade de espigas com palha (kg ha-1) e produtividade de grãos (em kg ha-1). Também foi feita uma avaliação econômica com os diferentes tratamentos.

<sup>\*\*</sup> Quantidades em excesso.

As avaliações de produtividade de espigas de milho com palha e produtividade de grãos foram feitas depois da secagem natural do milho. A secagem do milho buscou a umidade aproximada de 13% através de secagem natural a campo. As espigas colhidas, de cada parcela, foram colocadas para secar ao sol durante sete dias. Após a secagem, as espigas colhidas foram pesadas e depois debulhadas em debulhador manual. Com o peso das espigas e dos grãos após a debulha, foram obtidas as estimativas de produtividade em kg ha-1 para cada parcela.

Depois, foi feita uma análise econômica para saber qual dos tratamentos teve o maior retorno econômico. Para isso, a produtividade de cada tratamento foi convertida em sacas de 60 kg ha<sup>-1</sup> para ser feito o cálculo da receita líquida após a adubação obtida com a venda da produção

por hectare. O valor gasto com os adubos e com a sua aplicação representou os custos com as diferentes adubações para cada tratamento. Vale ressaltar que o custo do composto orgânico é subsidiado. Para compor a receita, foi considerada a cotação da saca de 60 kg de milho, em 12 de janeiro de 2021. Além disso, foram considerados os preços vigentes na região para sacos de 50 kg de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, bem como para a diária de um homem, empregado para trabalhar na aplicação dos adubos. Esses valores estão apresentados na Tabela 5. Não foram considerados outros custos de produção na análise, pois, além de serem iguais em todos os tratamentos, o interesse era apenas em ver o impacto econômico da adubação, de acordo com as diferentes adubações utilizadas nos tratamentos.

Tabela 5 - Cotações da saca de milho e dos custos dos adubos utilizados nos diferentes tratamentos

Componentes	Cotações (R\$)
Saca de milho (60 kg)	71,00
Composto orgânico (T)	5,00
Ureia (saco de 50 kg)	122,00
Superfosfato simples (saco de 50 kg)	70,00
Cloreto de potássio (saco de 50 kg)	110,00
Diária (D/H)	80,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como os tratamentos que receberam adubação mineral tiveram o seu parcelamento, considerou-se que seriam necessárias três diárias por hectare para realizar as três adubações (uma no plantio e mais dois parcelamentos em cobertura). O tratamento que recebeu apenas o composto orgânico necessitou de uma diária por hectare para que fosse feita a adubação (uma adubação na ocasião do plantio). A maior parte dos agricultores familiares dessa região que cultivam o milho realizam os tratos culturais com operações manuais, por isso foi considerada a aplicação manual do adubo.

As quantidades de fertilizantes minerais, em sacos de 50 kg, necessárias para cada tratamento estão apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6 –** Quantidade de adubos por tratamento

Tratamentos	Ureia (sc 50 kg)	Superfosfato simples (sc 50 kg)	Cloreto de potássio (sc 50 kg)
100 % CO	00	00	00
75% CO + 25% AM	02	07	00
50% CO + 50% AM	03	08	00
25% CO + 75% AM	04	10	01
100% AM	05	12	03

Fonte: Elaborada pelos autores.

**Nota:** CO: Composto orgânico. AM: Adubo mineral. Para calcular a receita líquida com a aplicação dos tratamentos, foi utilizada a fórmula abaixo.

#### A = B - C

Uma vez que:

A = Receita líquida com a aplicação dos adubos por hectare.

B = Receita bruta por hectare.

C = Custos da adubação.

Ressalta-se que esse cálculo não revela de fato o lucro obtido com a atividade, já que não se considerou todos os custos de produção envolvidos, mas apenas aqueles ligados ao manejo da adubação, que é o alvo dos tratamentos do presente trabalho.

**Tabela 7 –** Médias das características agronômicas

#### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos para a produtividade de espigas com palha, conforme a Tabela 7. Já para a produtividade de grãos, os tratamentos que continham 100% de adubação mineral e 25% de adubação orgânica + 75% de adubação mineral foram semelhantes entre si e superiores aos demais, que também não diferenciaram entre si. Com relação à produtividade, constata-se que os nutrientes aportados via adubo orgânico não devem ultrapassar a proporção de 25% em relação à exigência da planta.

Tratamento	Produtividade de espigas com palha (kg ha-1)	Produtividade de grãos (kg ha-1)
T1 - 100% do composto orgânico	4292 a	3354 b
T2 – 75% composto e 25% adubação mineral	4750 a	3722 b
T3 – 50% composto orgânico e 50% adubação mineral	4250 a	3343 b
T4 – 25% composto orgânico e 75% adubação mineral	5249 a	4277 a
T5 – 100% adubação mineral	5750 a	4531 a
Média	4858	3846
CV (%)	15,12	13,9

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota: Médias seguidas de uma mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Esses resultados na produtividade podem estar relacionados à velocidade de liberação dos nutrientes para as plantas em relação às fontes utilizadas. Os nutrientes presentes no adubo orgânico precisam de tempo maior para que ocorra a sua mineralização e absorção, quando comparadas às fontes minerais (Kiehl, 2002). Esse tempo maior para disponibilidade dos nutrientes, consequentemente, afetará na produtividade do cultivo, sobretudo no primeiro ciclo de cultivo, pois, mesmo que tenha sido considerado o índice de conversão no cálculo da dose do composto orgânico, esse índice é considerado para o prazo de um ano, tempo maior do que o ciclo da cultura do milho. Como a matéria orgânica possui um efeito residual, é de se esperar que, ao passar do tempo e com a continuidade da aplicação do composto orgânico, a produtividade das áreas que receberam a adubação

orgânica seja equivalente às que receberam somente adubação mineral.

Resultados semelhantes na interação entre as diferentes proporções de adubação orgânica e mineral também foram observados por outros autores. Segundo Mueller et al. (2013), a produtividade total em cultivo de tomate, que utilizou diferentes doses de cama de aviário, com e sem complementação com adubos minerais, foi maior sempre que a complementação mineral era realizada. Já Silva (2012), observou que, para a avaliação de uma colheita, a maior proporção de composto orgânico desfavoreceu a produtividade de café conilon, em estudo com dois tipos de compostos orgânicos utilizados em cinco proporções diferentes (0; 25, 50, 75 e 100).

Os resultados com a receita líquida após a adubação, receita bruta e custos com a adubação (por ha) de cada tratamento estão apresentados na Tabela 8:

Tabela 8 - Receita bruta, custos e receita líquida com a adubação

Tratamentos	Receita bruta/ha	Custos com adubação/ha	Receita líquida após adubação/ha
T1 – 100 % CO	R\$ 3.905,00	R\$ 180,00	R\$ 3.725,00
T2 - 75% CO + 25% AM	R\$ 4.402,00	R\$ 1.049,00	R\$ 3.353,00
T3 - 50% CO + 50% AM	R\$ 3.922,75	R\$ 1.216,00	R\$ 2.706,75
T4 - 25% CO + 75% AM	R\$ 5.017,33	R\$ 1.563,00	R\$ 3.454,33
T5 - 100% AM	R\$ 5.325,00	R\$ 2.020,00	R\$ 3.305,00

Nota: CO: Composto orgânico; AM: Adubo mineral.

Quando comparadas as médias da receita líquida após a adubação pelo teste de Scott-Knott, não foram

observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Médias da receita líquida após a adubação

Tratamentos	Receita líquida após a adubação (R\$ ha-1)
T1 – 100% CO	3725,00 a
T2 - 75% CO + 25% AM	3353,00 a
T3 - 50% CO + 50% AM	2706,75 a
T4 – 25% CO + 75% AM	<b>3454,33</b> a
T5 – 100% AM	3305,00 a
Média	3308,82
CV (%)	19,06

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota: Médias seguidas de uma mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Kott a 5% de probabilidade; CO: Composto orgânico; AM: Adubo mineral.

Esses resultados mostram que, mesmo com as maiores produtividades obtidas no tratamento que recebeu 100% de adubo mineral, a diminuição crescente dos custos para efetuar as adubações nos tratamentos, à medida em que diminuíram as percentagens de adubos minerais nas doses das adubações, contribuíram para que esses tratamentos apresentassem receita líquida com a adubação parecida ao tratamento que recebeu apenas a adubação mineral. Esse fato indica a potencialidade de uso do composto contendo a borra de café como fertilizante na agricultura, considerando aspectos econômicos. Apesar de haver, em determinadas situações, redução de produtividade, a receita líquida após a adubação não foi reduzida comparativamente ao uso de adubos minerais. Assim, o uso do composto como fertilizante pode ser considerado como uma forma adequada de destinação final do

subproduto (borra de café), apresentando vantagens agronômicas, econômicas e ambientais.

Foi observado que todos os tratamentos que receberam adubação mineral tiveram aumentos nos custos envolvidos na prática de adubação, quando comparados ao tratamento que recebeu apenas o composto orgânico. Isso se deve ao custo reduzido do composto orgânico, devido o mesmo ser subsidiado, ao maior custo dos adubos minerais e a necessidade de parcelamento das adubações, que resulta em mais gastos com mão de obra. Vale lembrar que foi considerado apenas o gasto com a adubação (custo dos adubos e a sua aplicação) para compor os custos. Por isso, os valores de receita líquida obtidos não representam valores de lucro, uma vez que se deve considerar outros custos de produção para a obtenção desses valores.

#### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O composto orgânico produzido na Fazenda Experimental de Viana, com o uso de resíduo de borra de café, apresentou resultados satisfatórios na produtividade da cultura do milho, principalmente quando utilizado de forma complementar à adubação mineral. Do ponto de vista de produtividade, a melhor proporção encontrada foi de 25% de composto orgânico para 75% de adubação mineral.

O composto orgânico, usado como substituto dos adubos minerais, reduziu o custo das adubações quando aplicado em maiores proporções, principalmente devido ao seu custo subsidiado. A adubação com composto orgânico proporcionou rentabilidade na cultura do milho equivalente à adubação mineral, devido ao menor custo de adubação por hectare.

#### **CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES**

SOUZA, L. M. B de. executou o trabalho, as avaliações e a interpretação dos resultados. LOPES, G. e ARAÚJO, J. B. S. auxiliaram na interpretação dos resultados. FAVARATO, L. F. auxiliou na condução do trabalho e interpretação dos resultados e GUARÇONI, R. C. auxiliou na análise estatística e interpretação dos resultados.

#### **CONFLITO DE INTERESSES**

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo (Fapes), à Realcafé, à Prefeitura Municipal de Viana e ao Programa de Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais da Universidade Federal de Lavras (PPGTIA/UFLA).

#### REFERÊNCIAS

ABIC (Associação Brasileira da Indústria do Café). **Estatísticas**. Rio de Janeiro: ABIC, 2018. Disponível em: http://abic.com. br/estatisticas/#4178. Acesso em: 20 set. 2018.

ABICS (Associação Brasileira da Indústria do Café Solúvel). [S. L.]. São Paulo: ABICS, 2022. Disponível em: https://agenciap1. files.wordpress.com/2020/01/relatc3b3rio-do-cafc3a9-solc3bavel-do-brasil-jan2022.pdf. Acesso em: 12 fev. 2022.

BALLESTEROS, L. F.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 12, p. 3493–3503, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z. Acesso em: 6 mar. 2021.

ICO (International Coffee Organization) [S. l.], 2021. Disponível em: http://www.ico.org. Acesso em: 8 abr. 2021.

KONDAMUDI, N.; MOHAPATRA, S. K.; MISRA, M. Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 24, p. 11757–11760, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1021/jf802487s. Acesso em: 14 mar. 2022.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem:** maturação e qualidade do composto. 3. ed. Piracicaba–SP: Edição do autor, 2002.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem:** maturação e qualidade do composto. 4. ed. Piracicaba–SP: Edição do autor, 2004.

MUELLER, S; WAMSER, A. F; SUZUKI, A; BECKER, W. F. Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 86–92, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/hb/a/svSzgSd5cg3Cs9P8PJRJjFN/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 23 abr. 2022.

PREZOTTI, L. C. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo. Vitória–ES: Incaper, 2010.

ROS, M. et al. Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after long-term amendment with different composts. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 12, p. 3443–3452, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.05.017. Acesso em: 7 mar. 2021.

SILVA, V. M. Manejo da adubação orgânica visando agroecossistemas sustentáveis de café conilon no Estado do Espírito Santo.
2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal).
Universidade Federal do Espírito Santo – Alegre, 2012. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/6542/1/Victor%20
Mauricio%20da%20Silva.pdf. Acesso em: 2 junho 2022.

# **ENTREVISTA**

# Sustentabilidade: a adoção de carbono negativo nos cafezais da Fazenda Três Meninas em Minas Gerais



#### Marcelo Urtado

Engenheiro agrônomo e mestre em Tecnologia Ambiental, produtor de café da Fazenda Três Meninas, localizada em Minas Gerais.

A Fazenda Três Meninas, localizada no Município de Monte Carmelo (MG), no Cerrado Mineiro, inova ao adotar uma agricultura conservativa e climaticamente inteligente, como modelo de produção. É referência em sustentabilidade, com resultados impactantes. Entre eles, a redução total do uso de pesticidas e fertilizantes inorgânicos, a alta pontuação no selo de certificação de cafeicultura regenerativa e a recuperação e preservação do meio ambiente por meio da implantação do sistema carbono negativo, especialmente dentro dos cafezais. As práticas são adotadas pelo cafeicultor Marcelo Urtado e sua esposa Paula Urtado.

#### 1 - Por que a fazenda leva o nome de "Três Meninas"?

O nome da fazenda é uma homenagem às três mulheres da família: a Paula, minha esposa, a Malu e a Fefê, nossas filhas de 12 e 8 anos, respectivamente. O nome diz muito sobre nós, pois envolve a sucessão familiar e a igualdade de gênero na gestão da fazenda e nas nossas vidas. O logo da fazenda também complementa o nome, mostrando a planta de café com seus frutos e a abelha, nossa mascote parceira e indicadora ambiental.

## 2 - Quando se fala em agricultura regenerativa, a dinâmica das atividades e resultados obtidos na Fazenda Três Meninas são fortes referências. A que se deve isso?

O propósito da fazenda de aplicar, gerar e disseminar conhecimento explica muito os resultados obtidos, pois desde o primeiro passo tudo foi feito por meio de muito estudo, pesquisa e parceria. Afinal, não conquistamos nada sozinhos. Um dos maiores investimentos feitos foi em estudos e pesquisas. Gastamos muito tempo avaliando os trabalhos de pesquisadores para aplicarmos no nosso manejo. Como exemplo, podemos citar pesquisas dos doutores Ademir Calegari e Madelaine Venzon, entre outros. Ou seja, ciência aplicada no campo. Com isso, conseguimos resultados conscientes no decorrer dos anos. Podemos citar as parcerias com a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig) e a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) como exemplos de ciência aplicada no campo. Além da academia, também temos parceiros, como os engenheiros agrônomos, os colaboradores da fazenda e as cooperativas. Resumidamente, os resultados são consequência de muito suor, estudo, pesquisa e trabalho em equipe.

## 3 - Vocês adotaram a prática de baixo carbono na propriedade. Quando foi que isso começou? Quais foram os resultados positivos até agora?

A produção de baixo carbono foi uma consequência do manejo adotado na Fazenda Três Meninas. Quando se produz buscando o equilíbrio e a resiliência, principalmente pelo aumento da biodiversidade, naturalmente o balanço de carbono vai se tornando negativo, ou seja, sequestramos mais carbono do que emitimos. Esse é o impacto positivo no meio ambiente. Começamos a operação em outubro de 2016 e, desde esse momento, adotamos esse manejo, sempre respeitando as características locais e dando um passo de cada vez, sem pular etapas.

Como equilíbrio alcançado, não dependemos de nitrogênio químico, que é a principal fonte de emissão de GEE (Gases do Efeito Estufa), também reduzimos o consumo de diesel, pois as entradas com tratores ficaram menos frequentes e 100% da energia da fazenda é originada das placas fotovoltaicas, ou seja, energia solar. Também importante o resultado obtido com a não necessidade de utilizarmos os defensivos químicos ao optarmos apenas pelos biológicos. Como resultados, podemos citar a melhora no balanço do carbono, a redução dos custos com fertilizantes, a manutenção da produtividade, a melhora na bebida do café e a agregação de valor na saca de café. Trata-se de um círculo virtuoso, em que damos condições para a natureza exercer seu papel e colhemos os frutos. Não por acaso, a natureza é nossa sócia!

### 4 - Como funciona a dinâmica de atividades na Fazenda Três Meninas no que se refere à relação entre as abelhas e os cafés?

A fazenda tem como propósitos a produção de cafés especiais impactando positivamente o meio ambiente e o social, bem como a aplicação, geração e disseminação de conhecimento. Para promover um impacto positivo no meio ambiente, precisamos que o sistema produtivo esteja equilibrado e resiliente. Diversas ações foram adotadas ao longo dos anos para atingir esse equilíbrio, como, por exemplo, as boas práticas de uso e conservação do solo, as plantas de cobertura, inclusive durante a colheita do café, a utilização dos insumos que beneficiem o aumento da biodiversidade, entre outras. As abelhas nativas do Brasil, sem ferrão, entram após

o sistema produtivo estar em equilíbrio. Elas representam a última etapa, pois são seres sensíveis, e tudo que é aplicado no café entra diretamente em contato com elas; por isso, são excelentes indicadoras de qualidade ambiental. Além disso, proporcionam bons resultados na lavoura, como o aumento de até 30% na produtividade do café e a melhora na qualidade da bebida. Quando decidimos realizar o projeto, contratamos pesquisadoras especializadas em abelhas nativas, e foi feito um inventário da propriedade para depois definir as espécies, a quantidade e a disposição das abelhas para a Fazenda Três Meninas. O mel produzido pelas abelhas, até o momento, é aproveitado apenas pela própria fazenda.

# 5 - Como foi o processo de transição da cafeicultura tradicional para o manejo atual? Qual a recomendação que daria para quem gostaria de fazer a mesma mudança?

Nosso primeiro passo e o que recomendamos a todos é estudar e pesquisar muito. O conhecimento é a base da mudança. Se seguirmos um caminho sem a devida base científica, podemos ter grandes prejuízos. Nesse tipo de manejo, é muito importante entender a propriedade e como ela está inserida na paisagem. A propriedade faz parte de um sistema dentro da microbacia que está inserida. Ou seja, nessa linha de trabalho, não existe uma receita pronta ou um pacote tecnológico pré-concebido. Tudo é planejado e realizado de acordo com as condições locais.

O nosso objetivo principal era buscar equilíbrio e resiliência da propriedade e, para isso, entendemos que era necessário aumentar o máximo possível a biodiversidade da propriedade tanto acima como abaixo do solo. Após entendermos nossas necessidades e as características da propriedade, começamos a aumentar a diversidade com o plantio de plantas de cobertura e, a cada ano, fomos expandindo essa diversidade, bem como as épocas de plantio.

Hoje já plantamos durante todo o ano. Inclusive, durante a colheita do café, o solo está coberto com essas plantas. Em paralelo, começamos a aumentar a adubação orgânica e organomineral, enquanto diminuíamos proporcionalmente a adubação química tradicional. Com o passar dos anos, utilizamos somente adubação orgânica, biológica e demais fertilizante permitidos na agricultura orgânica, sem diminuição da nossa produtividade.

Desde o primeiro momento, também praticamos o controle biológico aumentativo, que resumidamente se dá com o aumento dos inimigos naturais por meio de insumos internos – agentes micro e macrobiológicos – e externos, ou seja, fora da propriedade. Atualmente já trabalhamos mais focados no controle biológico conservativo, manejo que consiste em criar um habitat para os inimigos naturais se desenvolverem na própria fazenda. Conforme a fazenda foi ficando mais equilibrada, o uso de insumos que diminuem a biodiversidade foi sendo substituído por insumos biológicos e, atualmente, a fazenda só utiliza os insumos permitidos na agricultura orgânica. O plantio de árvores (de diferentes espécies) nas ruas de café também faz parte desse manejo. Todo solo coberto o ano todo é um "mantra" na Fazenda Três Meninas, pois, fazendo essa ação simples, você transforma bacias hidrográficas inteiras.

Então, se alguém quer seguir esse caminho, recomendamos consultar um profissional experiente nesse manejo e dar um passo de cada vez, sem pular etapas. A mudança é um processo contínuo e precisa respeitar os prazos da natureza.

# 6 - Recentemente vocês receberam um grupo de torrefadores e traders ou negociadores de café de diversos países. Qual foi a percepção deles sobre o modelo de produção adotado na fazenda diante das demandas dos consumidores que atendem?

Os torrefadores e os traders ficaram impressionados com o manejo e muito satisfeitos com a visita, pois puderam ver de perto uma agricultura moderna, lucrativa e que impacta positivamente o meio ambiente, bem como o social. Eles entenderam o que é o Lucro Admirável, que é a recompensa de se produzir fazendo o bem, o negócio que temos admiração pelo lucro gerado. Lucro em todos os sentidos, como financeiro, social e ambiental. A visita sempre surpreende, pois é possível ver na prática o sistema equilibrado e o dia a dia da fazenda. Nossa melhor propaganda é a vista, pois os visitantes sentem o que as palavras e imagens não conseguem passar.

# 7 – Para finalizar, além dos tantos benefícios já citados, há também algum diferencial na comercialização do café?

Sim, com certeza. Não é um valor tabelado por meio de ágio por saca de café, mas o valor percebido pelos compradores, que é bem maior. Eles entendem que esse café vale mais e as vendas têm sido feitas por um valor bem superior ao café tradicional, quase o dobro. Esses compradores querem ter a imagem associada a esse modelo de produção. Afinal, o "paladar consciente" já é uma realidade de mercado. Outra forma de agregação de valor tem sido a melhora substancial da bebida do café, por avaliação sensorial, com a evolução do manejo.

#### Por Tatiana Toniato Caus

Assessora de comunicação do Incaper, tatiana.souza@incaper.es.gov.br

# **ENTREVISTA**

# Sequestro de carbono no café

### 1 - Qual o cenário no Espírito Santo em relação à cadeia envolvida na captura de CO<sub>3</sub>?

Na visão do comércio exportador de café, é evidente o compromisso dos nossos clientes com as metas do Acordo de Paris, visando conter o aumento da temperatura global para que não ultrapasse os 2 °C até o final deste século. Existe uma atenção crescente, por parte da indústria internacional e dos consumidores de importantes regiões de destino dos cafés do Brasil, quanto à pegada de carbono ao longo dos processos produtivos e aos impactos ambientais dos produtos consumidos. É nesse sentido que o Cecafé, como legítimo representante do comércio exportador, tem realizado esforços para trazer mais transparência a essa discussão, promovendo a geração de dados científicos para comprovar que a cafeicultura brasileira é uma atividade ambientalmente responsável e que gera desenvolvimento onde está presente. Entre essas ações, destacamos o Projeto Carbono, iniciado pelo Cecafé em 2021 (a iniciativa pretende medir o balanço líquido das emissões de gases de efeito estufa na cafeicultura), em parceria com o Imaflora e o Prof. Carlos Eduardo Cerri da Esalq/USP, que em sua primeira etapa, realizada em Minas Gerais, demonstrou que com a adoção de boas práticas as lavouras cafeeiras mais sequestram do que emitem gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, com um balanço de carbono negativo da ordem de 10,5 t CO<sub>3</sub>eq/ha de café cultivado.



#### Marcos Antonio Matos

Diretor-geral do Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (Cecafé), formado em Engenharia Agronômica, com mestrado em Agronomia, ambos pela Esalq/USP. Com cerca de 15 anos de experiência no agronegócio, atuou anteriormente como diretor--executivo da Associação Brasileira do Agronegócio da Região de Ribeirão Preto (Abag/RP). Passou pela Fundação Getúlio Vargas, na gestão de projetos, e pela Bayer S.A., na área de relações governamentais.

Agora o Cecafé está desenvolvendo a segunda etapa desse projeto no Estado do Espírito Santo. É uma pesquisa inédita, que será conduzida pela mesma equipe científica, objetivando mensurar o balanço de carbono da cafeicultura de conilon. Serão quantificadas as emissões de GEE das lavouras e o sequestro de carbono no solo e na biomassa do café, o qual será mensurado a partir de amostras coletadas em campo, incluindo plantas inteiras de café. Para a execução desse projeto, o Cecafé conta com importantes parceiros apoiadores de toda a cadeia produtiva do café capixaba e com a parceria institucional da Secretaria de Estado da Agricultura, Aquicultura, Abastecimento e Pesca (Seag) e do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), cujos pesquisadores têm apoiado a identificação dos modais produtivos que serão avaliados sob a ótica do balanco de carbono.

# 2 - O sequestro de carbono é uma realidade enquanto negócio. Diante disso, qual a visão do mercado internacional de café sobre o modelo, considerando carbono e sustentabilidade?

Diante da preocupação e do interesse das principais regiões consumidoras e da indústria global do café com a neutralização das emissões de gases de efeito estufa, podemos afirmar que no contexto da governança socioambiental, ações relacionadas à mitigação das mudanças climáticas são prioridade no pilar ambiental, isto é, o "E" do ESG (sigla em inglês para "Environmental, Social and Governance", que significa "Ambiental, Social e Governança"). Nesse sentido, práticas que promovem o sequestro de carbono da atmosfera estão intrinsicamente ligadas ao conceito de sustentabilidade, pois favorecem o alcance das metas do Acordo de Paris.

## 3 - No chamado "sequestro de carbono", há riscos ou efeitos colaterais, seja para o solo, seja para a vegetação, do local onde ele é realizado?

Quanto maior o sequestro de gás carbônico na atmosfera, maior é o teor de carbono no solo, que é um indicador de sustentabilidade e de regeneração dos sistemas produtivos. Solos saudáveis, com ótimas avaliações em suas propriedades físicas, químicas e biológicas apresentam elevados teores de carbono. Portanto, práticas que favorecem o sequestro de carbono, como maior aporte de matéria orgânica no solo e manutenção deste sob cobertura vegetal são benéficas para os sistemas produtivos, resultando em melhores níveis de produtividade, com menor dependência de insumos externos e também em um melhor equilíbrio econômico da atividade.

# 4 - Sobre valores: Qual o custo médio para execução do Projeto Carbono? Quais modalidades de financiamento são possíveis? De quem seria a responsabilidade para desenvolver essa atividade?

Um grande desafio é promover a monetização dos benefícios ambientais gerados pela adoção de práticas que promovem o sequestro de carbono e a redução das emissões de GEE. Um instrumento econômico com amplo potencial de crescimento e que visa estimular a adoção dessas práticas pela sua monetização é o mercado de carbono. Porém,

a estruturação de um projeto para geração de créditos de carbono ainda é cara, de longo prazo e, geralmente demanda grandes áreas para sua viabilização, mas há formas de ser trabalhado. Para tanto, é fundamental demonstrar que as práticas adotadas nos processos produtivos geram adicionalidade, isto é, promovem uma redução de emissões de GEE que não ocorreria sem sua presença. E é nesse ponto que as pesquisas promovidas pelo Cecafé têm gerado resultados interessantes, mostrando que as boas práticas presentes na cafeicultura brasileira geram adicionalidade e, portanto, há potencial de conexão com o mercado de carbono. O Cecafé está avaliando esse potencial, em um contexto mais mercadológico, com parceiros do mercado financeiro, visando apoiar o desenvolvimento de uma Plataforma de Créditos de Carbono "Cafés do Brasil".

# 5 – Em relação às famílias agrícolas, pequenos produtores de café e grupos afins, estão incluídos na possibilidade de acesso a créditos de carbono?

Uma grande fortaleza da cafeicultura brasileira é sua importância social, pois é desenvolvida por pequenos cafeicultores e produtores familiares, os quais representam 78% dos nossos produtores. Diante dessa característica, a viabilização de uma plataforma setorial de geração de créditos de carbono passa pela realização de projetos agrupados, que agreguem muitos produtores de pequeno porte. Para a promoção dessa agregação, é fundamental a integração com os demais elos da cadeia produtiva, para geração de informação, apoio aos processos de mensuração e verificação dos créditos produzidos e facilitação da conexão com o mercado, por exemplo. É essa avaliação que o Cecafé está desenvolvendo com parceiros do mercado financeiro, no contexto da Plataforma de Créditos de Carbono "Cafés do Brasil".

# 6 - Qual o argumento utilizado para convidar/propor aos produtores a mudança para essa modalidade sustentável de baixa emissão de carbono?

O principal benefício gerado aos produtores pela adoção das práticas de agricultura de baixo carbono é a melhoria das condições produtivas de suas propriedades. Afinal, o aumento do carbono no solo é um indicador de que esse

solo está mais saudável, capaz de gerar melhores produtividades com menor dependência de insumos externos, o que também pode resultar em um melhor equilíbrio financeiro da atividade, traduzido em renda familiar. É inegável que a melhoria dessa condição do solo é um serviço ambiental prestado pelos produtores à sociedade, pois está contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas via sequestro de gás carbônico da atmosfera. Temos um caminho a ser trilhado, como cadeia produtiva e em conjunto com entidades públicas, para viabilizar a monetização desse serviço ambiental prestado pelos produtores.

#### **Por Daniel Borges**

Assessor de comunicação do Incaper, daniel.borges@incaper.es.gov.br



