

ORGANIZADOR: Maurício Novaes Souza

Tópicos em Cafeicultura

Cafeicultura Agroecológica

Volume V



ORGANIZADOR:
Maurício Novaes Souza

Tópicos em
Cafeicultura
Cafeicultura Agroecológica

Volume V

Canoas
2025



ESTUDOS DE CASO:

Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da cafeicultura no Espírito Santo: riscos, impactos e estratégias de adaptação

Três faces da sustentabilidade rural: agroecologia, agricultura orgânica e transição agroecológica

Adubação verde: práticas tradicionais e inovações para uma agricultura de baixo impacto

Bioindicadores e controle ecológico: estratégias sustentáveis no manejo de pragas e doenças agrícolas

Monitoramento da broca-do-café com armadilhas atrativas: estratégia para manejo sustentável

Bokashi: a revolução dos adubos orgânicos na agricultura sustentável

Transição agroecológica e qualidade: a nova dinâmica da cafeicultura do *coffea canephora* no Espírito Santo

Vantagens da sustentabilidade na produção de café conilon: perspectivas ambientais e de mercado

Desafios e perspectivas da agricultura sustentável: impactos da agricultura convencional e práticas agroecológicas para a recuperação do solo e da produção de café

Café, solo e saber: a educação ambiental como instrumento de sustentabilidade na agroecologia

Tópicos em cafeicultura Cafeicultura Agroecológica Volume V

© 2025 Mérida Publishers

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0>

Organizador

Maurício Novaes Souza

Revisão ortográfica

Maurício Novaes Souza

Adaptação da capa e desenho gráfico

Luis Miguel Guzmán

Fotos da capa e contracapa

Karen Zavarize Bermond



Canoas - RS - Brasil

contact@meridapublishers.com

www.meridapublishers.com

Todos os direitos autorais pertencem a Mérida Publishers. A reprodução total ou parcial dos trabalhos publicados, é permitida desde que sejam atribuídos créditos aos autores.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C129 Cafeicultura agroecológica [livro eletrônico] / Organizador Maurício Novaes Souza. – 1. ed. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. – (Tópicos em cafeicultura; v. 5)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-84548-35-0

1. Cafeicultura. 2. Agricultura sustentável. 3. Agroecologia. I. Souza, Maurício Novaes.

CDD 633.73

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Dedicatória

Nasci no Fim do Mundo — uma fazenda escondida entre os morros do município de Castelo, no Espírito Santo.

Desde menino, cresci entre as fileiras de café, brincando, correndo, aprendendo com a terra.

Meu pai, Sr. Antônio Souza e Silva, o saudoso seu Bilú, cultivava o solo com respeito e sabedoria. Nunca usou produtos químicos — que, àquela época, ainda não eram tão comuns.
Sem saber, já praticava o que hoje chamamos de cafeicultura agroecológica.

Anos depois, ao cursar Agronomia, fui apresentado às fórmulas e promessas da chamada “Revolução Verde”. Mas jamais apliquei agrotóxico algum.
Segui fiel aos ensinamentos silenciosos do meu pai e da natureza.

Hoje, aquele modo antigo de cultivar virou símbolo de vanguarda: a cafeicultura regenerativa, sustentável, que respeita o tempo da terra.

Por tudo isso, e por tanto mais, dedico este livro à memória do meu pai — seu Bilú —
companheiro de alma simples, mestre sem diploma, exemplo sem discurso.

Gratidão!

Professor Maurício Novaes.

Guarapari, agosto 2025.

Prefácio

Nos últimos anos, temos assistido a uma transformação significativa na forma como o café é cultivado, consumido e valorizado. Em meio aos desafios socioambientais e à crescente conscientização sobre os impactos e externalidades da agricultura convencional, emerge com força um novo paradigma: o da cafeicultura agroecológica e regenerativa. Esse modelo não apenas atende a uma demanda global crescente por alimentos mais saudáveis e sustentáveis, como também abre caminhos promissores para novos nichos de mercado, impulsionados por consumidores cada vez mais atentos à origem dos produtos e ao modo como são produzidos.

Longe de ser uma moda passageira ou uma exigência *gourmet*, a cafeicultura agroecológica e regenerativa representa uma resposta concreta aos anseios por um sistema alimentar mais justo, equilibrado e resiliente. Ao promover práticas agrícolas baseadas na biodiversidade, na conservação dos recursos naturais e no respeito ao saber tradicional, ela aponta para um futuro onde é possível aliar produtividade, saúde humana e equilíbrio ambiental.

Enquanto o modelo convencional priorizou, por décadas, a maximização de rendimentos com o uso intensivo de insumos químicos e técnicas padronizadas, a abordagem agroecológica aposta na diversidade, na circularidade dos recursos e na autonomia dos agricultores. Já a agricultura regenerativa avança ainda mais, propondo não apenas evitar danos ao ambiente, mas regenerar solos, recuperar ecossistemas e fortalecer comunidades.

No Brasil, essa transição tem ganhado força especialmente nas regiões produtoras de café, como as Montanhas do Espírito Santo, o Caparaó e outras áreas de altitudes elevadas e clima favorável. Nesses territórios, muitos produtores — alguns com tradição familiar de cultivo sem venenos — estão adotando práticas que combinam sabedoria ancestral com inovações técnicas voltadas à sustentabilidade. Isso inclui o uso de adubação verde, sistemas agroflorestais, compostagem, controle biológico de pragas, manejo ecológico do solo e conservação das nascentes.

A demanda internacional e nacional por cafés produzidos de forma sustentável e saudável tem impulsionado esse movimento. Os consumidores

estão mais conscientes e informados. Valorizam não apenas o sabor da bebida, mas a história por trás de cada grão — sua origem, o cuidado com o meio ambiente, as condições de trabalho dos agricultores e a saúde de quem cultiva e consome.

Nesse cenário, a cafeicultura agroecológica e regenerativa surge como uma alternativa viável e necessária, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Ela permite ao agricultor agregar valor à sua produção, conquistar mercados diferenciados e fortalecer sua autonomia, ao mesmo tempo em que promove a conservação dos ecossistemas e o bem-estar das comunidades locais.

É importante destacar que essa transição não se resume a mudanças técnicas. Trata-se de uma transformação profunda de paradigma, que exige investimento em educação, tempo para adaptação dos sistemas biológicos e suporte técnico adequado. Não é uma receita pronta, mas um caminho construído com sensibilidade, diálogo com a natureza e compromisso com a vida.

O Espírito Santo, por exemplo, tem se consolidado como referência nesse processo. Diversas iniciativas — públicas, privadas e comunitárias — vêm apoiando produtores no desenvolvimento de práticas sustentáveis, reconhecendo e valorizando os cafés cultivados com base nos princípios agroecológicos e regenerativos. A atuação de entidades como o Incaper e a Caparaó Jr., ligada ao Instituto Federal do Espírito Santo, reforçam esse movimento ao promover capacitação técnica, inovação e valorização da agricultura familiar, contribuindo para o fortalecimento da cafeicultura sustentável em solos capixabas.

Essa nova abordagem vai além do cultivo. É também um movimento cultural, ético e político, que busca reconstruir a relação entre seres humanos e natureza. Ao respeitar o tempo dos ciclos naturais, preservar a biodiversidade e favorecer a inclusão social, a cafeicultura agroecológica e regenerativa se torna um modelo inspirador para a agricultura do futuro.

Neste livro, convidamos você a conhecer mais profundamente essa forma de fazer café que respeita a vida em todas as suas formas. Que cada página

seja um convite à reflexão, à valorização do trabalho dos agricultores e à construção coletiva de um mundo mais saudável, justo e sustentável.

Bem-vindos à cafeicultura agroecológica e regenerativa — onde cada grão carrega em si o sabor da terra, o cuidado das mãos e a esperança de um novo amanhã.

Na EPÍGRAFE, compartilho o poema **“A importância das sementes”** da agricultora Maria Regina Mendes Nogueira, Agricultora produtora de café de Poço Fundo, Minas Gerais, demonstrando uma das demandas fundamentais aqui levantadas e suas correlações.

Esse poema, “A importância das sementes”, sob a minha análise, por meio de uma lírica intimista, apresenta, em forma simples e poética, uma reflexão profunda sobre o papel essencial das sementes no contexto da agroecologia, da agricultura familiar e da preservação ambiental. Ao associar a semente à própria vida, o texto destaca não apenas o valor biológico do grão que germina, mas também seu simbolismo cultural, político e social.

Desde os primeiros versos, o poema estabelece a semente como metáfora da vida que precisa ser cuidada e plantada com responsabilidade. A figura do agricultor aparece como aquele que, com suas mãos, garante a germinação e a continuidade da existência. Nesse sentido, a semente representa o elo entre passado e futuro, carregando consigo a memória genética das plantas, o conhecimento dos povos tradicionais e a esperança de um mundo mais sustentável.

A valorização de agricultores familiares, povos indígenas, quilombolas e assentados da reforma agrária é outro ponto de destaque. O poema reconhece esses grupos como guardiões das sementes crioulas, variedades desenvolvidas e preservadas por gerações em condições locais, sem dependência de tecnologias externas. Ao contrário das sementes híbridas e transgênicas, geralmente controladas por grandes corporações, as sementes crioulas simbolizam autonomia, soberania alimentar e respeito à biodiversidade. Sua preservação é, portanto, uma forma de resistência frente à padronização e à mercantilização da vida.

No campo da produção agrícola, o texto ressalta o papel da agroecologia como uma alternativa viável e necessária ao modelo convencional baseado no uso intensivo de agrotóxicos e insumos químicos. A agroecologia se fundamenta em princípios ecológicos, sociais e culturais, promovendo sistemas produtivos diversos, resilientes e saudáveis. Ao “cuidar da mãe terra” e produzir “alimento seguro”, como diz o poema, a agroecologia contribui para a regeneração dos solos, a conservação da biodiversidade e o fortalecimento das comunidades locais, oferecendo soluções reais para os desafios das mudanças climáticas e da degradação ambiental.

Além disso, o poema destaca a importância da educação e do exemplo. A preservação das sementes e dos saberes associados a elas não depende apenas de técnicas, mas de um compromisso coletivo e intergeracional. É necessário transmitir às novas gerações o valor cultural, ambiental e alimentar das sementes, garantindo que esse patrimônio genético não se perca no esquecimento, mas siga germinando vidas, ideias e práticas sustentáveis.

No cenário atual, em que cresce a demanda mundial por alimentos mais saudáveis, rastreáveis e produzidos com responsabilidade socioambiental, as sementes crioulas e a agroecologia ganham centralidade em novos nichos de mercado. O consumidor consciente busca não apenas sabor e qualidade, mas também histórias, origens e modos de produção que respeitem a saúde e a natureza.

Dessa forma, o poema nos convida a repensar o modelo agrícola dominante e a reconhecer o valor das sementes como patrimônio coletivo, cultural e ecológico. Mais do que insumo agrícola, a semente é símbolo de resistência, autonomia e esperança – como a cafeicultura agroecológica! Proteger e valorizar as sementes, e os modos de produção que respeitam o meio ambiente, é também proteger a vida, a diversidade e o futuro do planeta.

Agora, o poema **“A importância das sementes”**.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, agosto de 2025.

EPÍGRAFE

“A importância das sementes”

A vida é uma semente, que precisa ser plantada.
Nas mãos do agricultor,
Ela será germinada.

Precisamos nos atentar,
Na importância das sementes.
Pra que se mantenha viva,
Nossa luta é permanente.

Índios, assentados, quilombolas e agricultura familiar,
Tem papel importante, as sementes preservar.
Pras futuras gerações melhor se alimentarem.

A agroecologia contribui para um futuro, cuidando da mãe terra,
Produzindo alimento seguro.

Tudo isso precisamos fazer,
E dar o nosso exemplo.
Pra que a importância das sementes, não caia no esquecimento.

Maria Regina Mendes Nogueira
Agricultora de Poço Fundo, Minas Gerais.

Apresentação

Este livro dá continuidade a iniciativas desenvolvidas no âmbito do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura, sendo agora ampliadas e aprofundadas por discentes e orientados da Pós-Graduação em Agroecologia, tanto nos níveis *Lato Sensu* quanto *Stricto Sensu*, do IFES Campus de Alegre.

O Volume I do livro "**Tópicos de Cafeicultura**", intitulado "**Produção de Café Orgânico: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural**", foi elaborado a partir do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do meu orientado, João Marcos Verly Oliveira da Silva. A publicação foi muito bem recebida e superou às nossas propostas e expectativas – foi traduzido para 11 idiomas e comercializado pela empresa *Amazon*, em todo o mundo. Os trabalhos produzidos nas disciplinas, bem como os TCCs e as dissertações, ganharam visibilidade por intermédio dessa parceria com os acadêmicos, contribuindo para o aumento das publicações do nosso programa, o que é uma exigência fundamental dos órgãos de fomento e financiamento de pesquisas.

Esse trabalho (ISBN: 978-620-2-80825-2), composto de cinco (5) capítulos, foi publicado pela editora Meidrum Street, Mauricius: Novas Edições Acadêmicas, 2021, com os seguintes capítulos:

Capítulo I. Educação ambiental na cafeicultura

Capítulo II. Legislação para a produção de orgânicos

Capítulo III. Permacultura na agricultura

Capítulo IV. Sistemas agroflorestais (SAFs) e a cafeicultura

Capítulo V. Cafeicultura agroecológica: sugestões para pesquisa

Disponível em:

<https://my.nea-edicoes.com/catalog/details//store/pt/book/978-620-2-80826-2/produção-de-café-orgânico>

O **Volume II** do livro “**Tópicos de Cafeicultura**”, com o título “**Cafeicultura em Região de Topografia Acidentada e Práticas de Conservação e Recuperação do Solo**”, baseou-se no TCC da minha orientada Andresa Carolina Mendes Pinheiro.

Esse trabalho (ISBN: 9786584548053), composto de cinco (5) capítulos, foi publicado pela editora Mérida Publishers, Canoas, RS, 2022, com os seguintes capítulos:

Capítulo I. A importância do café para o mundo e o Brasil.

Capítulo II. Práticas de conservação e recuperação do solo.

Capítulo III. Barraginhas (caixas secas e, ou, bacia de contenção).

Capítulo IV. Estudo de caso: barraginhas e a produtividade do cafeeiro conilon no Ifes - Campus de Alegre.

Capítulo V. Barraginhas: multifunções.

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/crta-esp/>

O **Volume III**, intitulado “**Manual de viveiricultor: produção de mudas de café**”, foi um trabalho realizado com meus alunos da disciplina Viveiricultura, do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura, do IFES - Campus de Alegre, nos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020; sua finalização contou com os alunos do mestrado em Agroecologia, Marciano Kaulz e Mariana Rodrigues Almeida.

Esse trabalho (ISBN: 978-65-84548-07-7), composto de doze (12) capítulos, foi publicado pela editora Mérida Publishers, Canoas, RS, 2022.

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/crta-esp/>

O **Volume IV**, intitulado "**Cafés Especiais**", mantém o mesmo objetivo dos volumes anteriores: reunir informações necessárias para o desenvolvimento de conceitos de planejamento voltados à condução efetiva das lavouras cafeeiras, com foco na produção de cafés especiais e na realização das atividades produtivas de forma sustentável. Isso inclui a utilização de práticas agroecológicas conservacionistas para garantir não apenas a qualidade do café, mas também a preservação/conservação ambiental e a sustentabilidade da produção.

O Volume IV é composto por oito (8) capítulos, abordando os seguintes temas:

Capítulo I. Cultura do café no Brasil e a produção de “cafés especiais”

Capítulo II. O café como destaque para o agronegócio brasileiro e capixaba

Capítulo III. Do conceito de “TERROIR” para a prática da indicação geográfica: uma revisão sistemática

Capítulo IV. Produção de cafés especiais: tendências

Capítulo V. Características e cuidados na produção de cafés especiais

Capítulo VI. Influência da altitude da lavoura e posição do fruto nas plantas sobre os aspectos granulométricos e sensoriais de café arábica

Capítulo VII. Análise física e sensorial do café

Capítulo VIII. Agroecologia e a produção de cafés especiais.

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/ce4/>

O **Volume V**, intitulado "**Cafeicultura Agroecológica**", preserva o propósito central dos volumes anteriores: oferecer subsídios relevantes para a construção de estratégias de planejamento voltadas à condução eficiente das lavouras cafeeiras. O enfoque permanece na produção de cafés especiais e na realização das atividades agrícolas de maneira sustentável. Para isso, são priorizadas práticas agroecológicas com caráter conservacionista, visando não

apenas assegurar a excelência do produto final, mas também promover a conservação ambiental e a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

O Volume V é composto por dez (10) capítulos, abordando os seguintes temas:

Capítulo I. Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da cafeicultura no Espírito Santo: riscos, impactos e estratégias de adaptação

Capítulo II. Três faces da sustentabilidade rural: agroecologia, agricultura orgânica e transição agroecológica

Capítulo III. Adubação verde: práticas tradicionais e inovações para uma agricultura de baixo impacto

Capítulo IV. Bioindicadores e controle ecológico: estratégias sustentáveis no manejo de pragas e doenças agrícolas

Capítulo V. Monitoramento da broca-do-café com armadilhas atrativas: estratégia para manejo sustentável

Capítulo VI. Bokashi: a revolução dos adubos orgânicos na agricultura sustentável

Capítulo VII. Transição agroecológica e qualidade: a nova dinâmica da cafeicultura do *coffea canephora* no Espírito Santo

Capítulo VIII. Vantagens da sustentabilidade na produção de café conilon: perspectivas ambientais e de mercado

Capítulo IX. Desafios e perspectivas da agricultura sustentável: impactos da agricultura convencional e práticas agroecológicas para a recuperação do solo e da produção de café

Capítulo X. Café, solo e saber: a educação ambiental como instrumento de sustentabilidade na agroecologia.

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/ca5/>

Nas **considerações finais**, destaca-se que a crescente degradação ambiental, associada à intensificação do uso de agrotóxicos e à expansão do modelo agroindustrial hegemônico, impõe uma urgência ética, ambiental e social à transformação dos sistemas de produção agrícola — especialmente na cafeicultura. Os impactos desse modelo, evidentes na erosão dos solos cultivados com café, na contaminação de mananciais em regiões produtoras, na perda de biodiversidade nos cafezais e na intensificação das desigualdades sociais no campo, revelam a insustentabilidade de uma produção voltada exclusivamente à lógica de mercado e produtividade.

Este trabalho buscou, portanto, problematizar as limitações desse paradigma convencional e apontar alternativas viáveis baseadas na cafeicultura agroecológica. Essa abordagem propõe a valorização dos saberes tradicionais, o uso racional dos recursos naturais e o fortalecimento de práticas que respeitem a complexidade dos agroecossistemas cafeeiros.

Ao longo da discussão, abordaram-se temas fundamentais como a importância do Sistema de Plantio Direto (SPD) na recuperação da estrutura e fertilidade dos solos tropicais utilizados na cafeicultura; a centralidade da agricultura familiar na produção de cafés em bases sustentáveis, com destaque para o Espírito Santo e, particularmente, a região do Caparaó Capixaba, onde o cultivo do café está profundamente enraizado nos modos de vida locais; e os riscos impostos pelos agrotóxicos à saúde humana, especialmente para trabalhadores rurais e comunidades que vivem próximas aos cafezais.

Também se analisou o potencial de instrumentos de incentivo à conservação ambiental, como a utilização dos Sistemas Agroflorestais (SAFs), como estratégia de valorização econômica de práticas conservacionistas adotadas por cafeicultores. Mereceu destaque, ainda, a relevância da biodiversidade microbiana associada à cafeicultura, como evidenciam estudos com Adubação Verde com leguminosas nativas em áreas degradadas, que demonstram caminhos promissores para a recuperação ecológica dos solos cafeeiros por meio da biotecnologia e da simbiose vegetal-microbiana.

A agroecologia aplicada à cafeicultura emerge, assim, como eixo estruturante de um novo paradigma produtivo. Sua abordagem sistêmica permite integrar práticas regenerativas, ciência e saberes locais, considerando as

dimensões ecológica, social, econômica e política do cultivo do café. Essa perspectiva fortalece a soberania alimentar, promove a justiça social no campo, estimula a diversidade cultural e biológica, e reconhece o papel essencial das mulheres e comunidades tradicionais no manejo e conservação dos agroecossistemas cafeeiros.

Dessa forma, este trabalho não se limita a uma análise teórica, mas constitui um chamado à ação prática. Os conhecimentos aqui sistematizados buscam inspirar transformações concretas na cafeicultura — seja na formulação de políticas públicas voltadas ao setor, na atuação técnica junto aos produtores, na educação agrícola ou na vida cotidiana daqueles que cultivam, comercializam e consomem o café. O futuro da cafeicultura, e da própria sustentabilidade agrícola, depende da construção de sistemas produtivos que respeitem os limites dos ecossistemas e coloquem a vida no centro das decisões.

Em síntese, a construção de uma nova cafeicultura — agroecológica, regenerativa e justa — não representa uma utopia, mas uma resposta necessária e urgente frente aos desafios socioambientais do presente. A esperança concreta reside na multiplicação de experiências locais inspiradoras, capazes de regenerar solos, proteger a biodiversidade, fortalecer vínculos comunitários e garantir qualidade de vida às atuais e futuras gerações. A agroecologia, nesse contexto, aponta o caminho para uma cafeicultura com futuro — enraizada na terra, nutrida pelo conhecimento e cultivada com consciência.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, agosto de 2025.

Autores

Alex Justino Zacarias

Mestre em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: alexjustino12@gmail.com

Ana Lídia Chaves Gomes

Graduanda em Tecnologia de Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: alcgomess@gmail.com.

Andresa Carolina Mendes Pinheiro

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre, ES. E-mail: andresamendes2016.am@gmail.com

Atanásio Alves do Amaral

Professor Titular do Instituto Federal do Espírito Santo Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000. Alegre, ES. E-mail: atanasio.amaral@ifes.edu.br.

Barbara Petri Massariol

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500- 000, Alegre, ES. E-mail: barbarapm98@gmail.com.

Cecília Uliana Zandonadi

Mestranda em Ciências Florestais, UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, Caixa Postal 16, CEP: 29.500-000, Jerônimo Monteiro, ES. E-mail: ceciliauli@hotmail.com.

Clarissa Alves de Novaes

Professora do Instituto Federal Sudeste de Minas campus Muriaé. Av. Cel. Monteiro de Castro, 550 - Barra, Muriaé, MG, 36.884-036. E-mail: clarissa.novaes@ifsudestemg.edu.br

Cristiano de Oliveira

Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Comunidade Água Limpa, CEP: 29.400-000, Mimoso do Sul ES, ES. E-mail: cristiano.oliveira@idaf.es.gov.br.

Daniela Fosse Valbao

Magistério pela Escola Estadual Aristeu Aguiar, Licenciada e Bacharela pelo Instituto Federal do Espírito Santo Campus Alegre, e aspirante ao Mestrado do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES. Endereço: IFES Campus de Alegre - Distrito de Rive - Alegre, ES. E-mail: danielafossi1@gmail.com

Daniel Schwan Monteiro de Sousa

Graduando em Técnico em Agricultura em Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) Polo Cachoeiro de Itapemirim, Rua Agripino Oliveira, 60 - Independência, Cachoeiro de Itapemirim - ES, 29.306-500. E-mail: ss.daniel096@gmail.com

David Brunelli Viçosi

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: davidbrunellivicosi@gmail.com

Douglas Gonzaga de Sousa

Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: admdouglasgonzaga@gmail.com

Emily de Matos Barbosa

Graduada em Tecnologia em Cafeicultura pelo Instituto Federal do Espírito Santo do Campus de Alegre - Caixa postal 47. CEP: 29.500-000. Alegre, ES. E-mail: matosbemily@gmail.com

Esteffany Pereira da Silva

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: esteffanypereira067@gmail.com

Fabio Gomes Zampieri

Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal de Educação do Espírito Santo – Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: fgzampieri@hotmail.com; fabiogzampieri@gmail.com.

Fernanda Barcelos de Paula

Estudante do curso de Tecnologia em Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo do campus de Alegre - Caixa Postal 47. CEP: 29.500-000. Alegre - ES. E-mail: fernandabpaula.cafeicultura@gmail.com.

Flávia Muniz

Licenciada e Bacharelada em Ciências Biológicas, Especialista em Ensino de Ciências e Biologia e Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000. Alegre, ES. E-mail: flavia.proff@gmail.com

Flavia Ribeiro Oliveira Zampieri

Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Alegre - FAFIA, Caixa Postal 81, CEP: 29500-000, Alegre, ES. E-mail: fgzampieri@hotmail.com.

Gabriela Alves de Novaes

Administradora de empresas pela UFV e Especialista em Gestão Estratégica de Pessoas pela Universidade Federal de São João del-Rei. Avenida Bias Fortes, 1122, Centro, Belo Horizonte - MG. CEP: 30.170-014. E-mail: gabianovaes@yahoo.com.br

Hélcio Costa

Dr. Pesquisador do INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Serrano, BR 262, Km 94, Aracê, CEP: 29.278-000. Domingos Martins, ES. E-mail: helciocosta@incaper.es.gov

Iarley Ribeiro Miranda

Estudante do curso de Tecnologia em Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo do campus de Alegre - Caixa Postal 47. CEP: 29.500-000. Alegre - ES. E-mail: yarleimirandaalegre@gmail.com

Igor Borges Peron

Mestre em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: igor.borgesperon@gmail.com.

Joana Scarparo Novello

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: joanasnovello@gmail.com

José Elias Alves Adão

Tecnólogo em Cafeicultura pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: j.elias.adao@gmail.com

José Salazar Zanuncio Junior

Bacharelado em Zootecnia, Especialista em Educação do Campo pela Universidade Federal do Espírito Santo, Mestrado e Doutorado em Entomologia pela Universidade Federal de Viçosa, Pesquisador do Incaper, Rua Afonso Sarlo, 160, Bento Ferreira, CDP: 29.052.010, Vitória, ES. E-mail: jose.zanuncio@incaper.es.gov.br

Juliana de Faria Goronci

Graduanda em Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo Campus Alegre. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: jfggastronomia@gmail.com

Karenn Zavarize Bermond

Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade do Futuro (2021), Tecnóloga em Cafeicultura pelo Ifes - *Campus* de Alegre (2025) e Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - *Campus* de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: karennbermond@gmail.com

Laís Viana Bruneli

Técnica agrícola pelo Instituto Federal do Espírito Santo Campus Alegre, Engenheira agrônoma pela Universidade Federal do Espírito Santo Campus Alegre e Mestranda em Fitotecnia pela Universidade de São Paulo Campus Luiz de Queiroz - USP-Esalq. Endereço: Av. São João. Piracicaba, SP. E-mail: laisvbruneli@gmail.com.

Larissa Viana Bruneli

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: larissa_bruneli@hotmail.com

Luana Salvador

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000. Alegre, ES. E-mail: luanasalvador@gmail.com

Lucas de Brites Senra

Tecnólogo em Aquicultura Especialista em Educação Ambiental e Manejo de Recursos Naturais Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes – Campus Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: lucasbrites22@gmail.com.

Ludmila Lisbôa Porto

Estudante do curso de Tecnologia em Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo do campus de Alegre - Caixa Postal 47. CEP: 29.500-000. Alegre - ES.

Márcio Menegussi Menon

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre e Secretário Municipal de Meio Ambiente de Atílio Vivácqua, ES. Técnico em Agropecuária pelo Ifes do Campus de Alegre. Secretaria de Meio Ambiente de Atílio Vivácqua, ES. E-mail: marcio-menon@bol.com.br

Maria Angélica Alves da Silva Souza

Graduada em Pedagogia pela UFV, Mestrado em Extensão Rural pela UFV, Pós-graduação em Agroecologia pelo IFSUDESTE de Minas campus Rio Pomba, Pedagoga-Área do Ifes campus de Guarapari. Alameda Francisco Vieira Simões, 720, bairro Aeroporto, Guarapari, ES, CEP: 29.216-795. E-mail: maria.souza@ifes.edu.br.

Maurício José Fornazier

Dr. Pesquisador do INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Serrano, BR 262, Km 94, Aracê, CEP: 29.278-000. Domingos Martins, ES. E-mail: mauriciofornazier@gmail.com

Maurício Novaes Souza

Professor do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre - Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000. Alegre, ES. E-mail: mauricios.novaes@ifes.edu.br

Mayra da Silva Polastrelli Lima

Tecnóloga em cafeicultura, Especialista em agroecologia e sustentabilidade, Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes – Campus Alegre, CEP: 29500-000, Alegre, ES. E-mail: maypolastrelli@gmail.com

Oseas de Almeida Lima

Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: 90oseas@gmail.com

Paloma Imaculada de Oliveira Besteti

Tecnóloga em Cafeicultura pelo Ifes - Campus de Alegre (2024) e Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: palomaiobesteti17@gmail.com

Palloma Pamela Moura Azevedo

Estudante do curso de Tecnologia em Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo do campus de Alegre - Caixa Postal 47. CEP: 29.500-000. Alegre - ES. E-mail: pallomaoliveira930@gmail.com.

Paola Delatorre Rodrigues

Engenheira Florestal pela Universidade Federal do Espírito Santo, mestranda em agroecologia pelo Programa de Pós Graduação em Agroecologia do IFES- Campus Alegre, Caixa postal 47, CEP 29500-000, Alegre, ES. E-mail: paoladelatorre756@gmail.com

Regiane Carla Bolzan Carvalho

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo *campus* de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.520-000, Alegre, ES. E-mail: regianecbc@gmail.com

Rogério Carvalho Guarçoni

Dr. Pesquisador do INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Serrano, BR 262, Km 94, Aracê, CEP: 29.278-000. Domingos Martins, ES. E-mail: rogerio.guarconi@gmail.com

Samuel Felisberto de Freitas

Tecnólogo em Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo do campus de Alegre - Caixa Postal 47. CEP: 29.500-000. Alegre - ES. E-mail: felisbertofreitassamuel@gmail.com

Thiara Azevedo Pancotto

Licenciada e Bacharelada em Ciências Biológicas, Especialista em Educação e Gestão Ambiental e Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: thiarapancotto@gmail.com

Ubaldino Saraiva

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal de Educação do Espírito Santo Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: ubaldinosaraiva@incaper.es.gov.br.

Wagner Gonçalves de Sá

Licenciado em Ciências Biológicas, Especialista em Educação Ambiental e Recursos Naturais e Biologia e Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: wagnersemma@gmail.com.

Wanderson Facco Colodetti

Licenciado em Ciências Biológicas, especialista em Biologia e Química. Professor do Colégio João Bley, Castelo, ES. E-mail: andimcolodetti@gmail.com

Willian Moreira da Costa

Mestrando e Pós-graduado em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: willianbiologo@hotmail.com

Índice

CAPÍTULO 1 27

Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da cafeicultura no Espírito Santo: riscos, impactos e estratégias de adaptação

Luana Salvador, Emily de Matos Barbosa, Alex Justino Zacarias, Paola Delatorre Rodrigues, Laís Viana Bruneli, Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Karenn Zavarize Bermond, José Elias Alves Adão, Fernanda Barcelos de Paula, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 2 52

Três faces da sustentabilidade rural: agroecologia, agricultura orgânica e transição agroecológica

Barbara Petri Massariol, Igor Borges Peron, Joana Scarparo Novello, Mayra da Silva Polastrelli Lima, Daniel Schwan Monteiro de Sousa, José Elias Alves Adão, Willian Moreira da Costa, Palloma Pamela Moura Azevedo, Márcio Menegussi Menon, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 3 93

Adubação verde: práticas tradicionais e inovações para uma agricultura de baixo impacto

Fernanda Barcelos de Paula, Iarley Ribeiro Miranda, Regiane Carla Bolzan Carvalho, Laís Viana Bruneli, Wanderson Facco Colodetti, Willian Moreira da Costa, Larissa Viana Bruneli, Alex Justino Zacarias, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 4 120

Bioindicadores e controle ecológico: estratégias sustentáveis no manejo de pragas e doenças agrícolas

Ana Lídia Chaves Gomes, Andresa Carolina Mendes Pinheiro, Karenn Zavarize Bermond, José Elias Alves Adão, Mayra da Silva Polastrelli Lima, Wagner Gonçalves de Sá, Fernanda Barcelos de Paula, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 5 161

Monitoramento da broca-do-café com armadilhas atrativas: estratégia para manejo sustentável

David Brunelli Viçosi, José Salazar Zanuncio Junior, Maurício José Fornazier, Rogério Carvalho Guarçoni, Cecília Uliana Zandonadi, Ubaldino Saraiva, Hélcio Costa, Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 6 178

Bokashi: a revolução dos adubos orgânicos na agricultura sustentável

Samuel Felisberto de Freitas, Alex Justino Zacarias, Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima, Ludmila Lisbôa Porto, Daniela Fosse Valbao, Alex Justino Zacarias, Willian Moreira da Costa, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 7 208

Transição agroecológica e qualidade: a nova dinâmica da cafeicultura do coffea canephora no Espírito Santo

Douglas Gonzaga de Sousa, José Elias Alves Adão, Karenn Zavarize Bermond, Laís Viana Bruneli, Mayra da Silva Polastrelli Lima, Lucas de Brites Senra, Fernanda Barcelos de Paula, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 8 227

Vantagens da sustentabilidade na produção de café conilon: perspectivas ambientais e de mercado

Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Cristiano de Oliveira, Regiane Carla Bolzan Carvalho, José Elias Alves Adão, Mayra da Silva Polastrelli Lima, Palloma Pamela Moura Azevedo, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 9 257

Desafios e perspectivas da agricultura sustentável: impactos da agricultura convencional e práticas agroecológicas para a recuperação do solo e da produção de café

Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Regiane Carla Bolzan Carvalho, Karenn Zavarize Bermond, Luana Salvador, Mayra da Silva Polastrelli Lima, Ludmila Lisbôa Porto, Paola Delatorre Rodrigues, Alex Justino Zacarias, Atanásio Alves do Amaral, Juliana de Faria Goronci, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 10..... 282

Café, solo e saber: a educação ambiental como instrumento de sustentabilidade na agroecologia

Fabio Gomes Zampieri, Flavia Ribeiro Oliveira Zampieri, Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Maria Angélica Alves da Silva Souza, Karenn Zavarize Bermond, Clarissa Alves de Novaes, Thiara Azevedo Pancotto, Ana Lídia Chaves Gomes, Gabriela Alves de Novaes, Flávia Muniz, Maurício Novaes Souza

CONSIDERAÇÕES FINAIS 307

CAPÍTULO 1

Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da cafeicultura no Espírito Santo: riscos, impactos e estratégias de adaptação

Luana Salvador, Emily de Matos Barbosa, Alex Justino Zacarias, Paola Delatorre Rodrigues, Laís Viana Bruneli, Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Karenn Zavarize Bermond, José Elias Alves Adão, Fernanda Barcelos de Paula, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c1>

Resumo

O café, uma das *commodities* agrícolas mais relevantes em escala global, enfrenta crescentes desafios diante dos impactos das mudanças climáticas. No Espírito Santo, estado que ocupa posição de destaque como terceiro maior produtor nacional de café arábica e líder na produção de conilon, os efeitos dessas mudanças já são perceptíveis, afetando diretamente a produtividade, a qualidade dos grãos e a renda dos agricultores. Elevações nas temperaturas médias, irregularidade das chuvas, aumento da frequência de eventos extremos, como secas e geadas, além da intensificação de pragas e doenças, configuram um cenário preocupante para a sustentabilidade da cafeicultura capixaba. Este estudo tem como objetivo principal analisar de forma aprofundada os impactos das mudanças climáticas sobre as safras de café no Espírito Santo, por meio da identificação, caracterização e mapeamento de áreas mais suscetíveis ou já afetadas por essas alterações. A metodologia adotada inclui revisão bibliográfica atualizada, análise de dados climáticos e produtivos, além de estudos de campo realizados em propriedades cafeeiras de diferentes altitudes e zonas agroclimáticas. A pesquisa também propõe estratégias de mitigação e adaptação, como o uso de sombreamento, manejo conservacionista do solo, seleção de cultivares mais resilientes e práticas agroecológicas. Os resultados esperados buscam subsidiar políticas públicas, orientar técnicos e produtores, e contribuir para a manutenção da viabilidade econômica e ecológica da cafeicultura no contexto das transformações ambientais em curso.

Palavras-chave: Cafeicultura sustentável. Adaptação climática. Produção agrícola. Eventos extremos. Resiliência agrícola. Sistemas agroecológicos.

1. Introdução

As mudanças climáticas têm provocado transformações significativas nos sistemas naturais e humanos, afetando ecossistemas, biodiversidade e atividades socioeconômicas, especialmente a agricultura. Esses impactos ocorrem de forma gradual e acumulativa, com repercussões diretas sobre a produção agrícola, particularmente em culturas sensíveis às variações climáticas, como o café (Souza *et al.*, 2010; IPCC, 2022; Prado Tanure, 2020).

A produtividade cafeeira é influenciada por variáveis como temperatura, precipitação, umidade do ar e radiação solar. A espécie *Coffea arabica*, por exemplo, possui uma faixa ideal de temperatura entre 18°C e 22°C. Temperaturas superiores a 34°C podem causar o abortamento de flores, prejudicando o pegamento dos frutos e, conseqüentemente, reduzindo a produtividade (Assad *et al.*, 2004; Pinho *et al.*, 2021). Mesmo temperaturas moderadamente elevadas, entre 28°C e 33°C, já podem comprometer a taxa fotossintética, reduzir o número de folhas e afetar o metabolismo da planta (Camargo; Camargo, 2021).

No último século, a temperatura média global aumentou aproximadamente 1,1°C e, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as projeções para 2040 indicam elevações que podem ultrapassar 2°C em cenários de alta emissão (IPCC, 2022). Tais mudanças impõem desafios crescentes à agricultura, exigindo adaptações urgentes em práticas de manejo e escolha de cultivares (Rodrigues *et al.*, 2021; Silva; Pinto, 2023).

A cadeia produtiva do café é altamente dependente das condições climáticas. Alterações no regime de chuvas, temperatura e radiação solar interferem não apenas na produtividade, mas também na qualidade sensorial da bebida, no desenvolvimento dos grãos e na dinâmica de pragas e doenças (Ogundeji *et al.*, 2019; Barbosa *et al.*, 2020). Floradas desordenadas, maturação desigual e aumento na incidência de doenças fúngicas são algumas das conseqüências observadas nas lavouras em regiões vulneráveis às mudanças climáticas (Figura 1).

O Espírito Santo ocupa posição estratégica na cafeicultura brasileira, sendo o maior produtor nacional de *Coffea canephora* (conilon) e o terceiro maior de

Coffea arabica (CONAB, 2023). No entanto, o estado já apresenta sinais dos impactos climáticos em curso, como redução dos volumes pluviométricos, aumento das temperaturas extremas e irregularidade no ciclo hídrico anual. Segundo o Incaper (2023), o trimestre de julho a setembro, correspondente ao inverno no Hemisfério Sul, registrou os menores acumulados de precipitação, com valores inferiores a 100 mm na porção oeste do estado, e anomalias térmicas significativas em diversas microrregiões.



Figura 1. Maturação irregular do café. Fonte: <https://rehagro.com.br/blog/maturadores-na-cultura-do-cafe/>.

Este estudo tem como objetivo compreender os impactos das mudanças climáticas sobre as safras de café no Espírito Santo, com foco na identificação, caracterização e mapeamento de áreas em risco ou já afetadas por eventos climáticos extremos. A proposta visa subsidiar a adoção de práticas agrícolas adaptativas, promovendo a sustentabilidade da produção cafeeira no estado.

A metodologia adotada compreende múltiplas etapas. Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica atualizada, com base em estudos recentes sobre mudanças climáticas e cafeicultura, estabelecendo um referencial teórico-metodológico sólido. Em seguida, foram coletados dados sobre geologia,

pluviosidade, uso e ocupação do solo, histórico de desastres naturais e indicadores climáticos locais.

A pesquisa de campo incluiu visitas técnicas a propriedades cafeeiras em distintas altitudes e zonas agroclimáticas, com registro visual das condições das lavouras por meio de dispositivos móveis e imagens de satélite (*Google Earth* e plataformas de sensoriamento remoto). O mapeamento espacial foi desenvolvido no software QGIS, utilizando variáveis como precipitação, temperatura, evapotranspiração e balanço hídrico, possibilitando a delimitação das áreas mais afetadas.

Adicionalmente, foi realizada uma consulta com produtores rurais por meio de questionários estruturados, respeitando os princípios éticos e legais de pesquisa. O levantamento visou registrar percepções sobre os impactos climáticos nas lavouras ao longo dos últimos anos, contribuindo com dados qualitativos para o diagnóstico regional.

Este projeto propõe ainda o uso de tecnologias baseadas em dados abertos e geoprocessamento para orientar ações de manejo específico por microrregião. Recomenda-se, com base nos resultados obtidos, a adoção de práticas conservacionistas como terraceamento, sombreamento, consórcios agroecológicos e recuperação de áreas degradadas, bem como o incentivo à pesquisa e extensão rural para promover a resiliência da cafeicultura capixaba frente às mudanças climáticas.

2. Painel atual sobre as mudanças climáticas

As evidências científicas mais recentes apontam que cada uma das últimas quatro décadas foi sucessivamente mais quente do que qualquer outra desde 1850. De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), a temperatura média global da superfície — considerando a terra e os oceanos — entre 2001 e 2020 foi aproximadamente 0,99 °C [intervalo de confiança: 0,84 °C a 1,10 °C] superior à média do período pré-industrial (1850–1900). No intervalo de 2011 a 2020, esse aumento alcançou 1,09 °C [0,95–1,20 °C], com as elevações mais

acentuadas observadas sobre os continentes ($1,59\text{ }^{\circ}\text{C}$ [$1,34\text{--}1,83\text{ }^{\circ}\text{C}$]), em contraste com os oceanos ($0,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ [$0,68\text{--}1,01\text{ }^{\circ}\text{C}$]) (IPCC, 2021; WMO, 2023).

Grande parte desse aquecimento é atribuída às atividades humanas, principalmente à queima de combustíveis fósseis e às mudanças no uso da terra, que aumentaram significativamente a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. O dióxido de carbono (CO_2), por exemplo, atingiu 419,3 partes por milhão (ppm) em 2023 — um valor sem precedentes nos últimos dois milhões de anos (NOAA, 2023) (Figura 2).

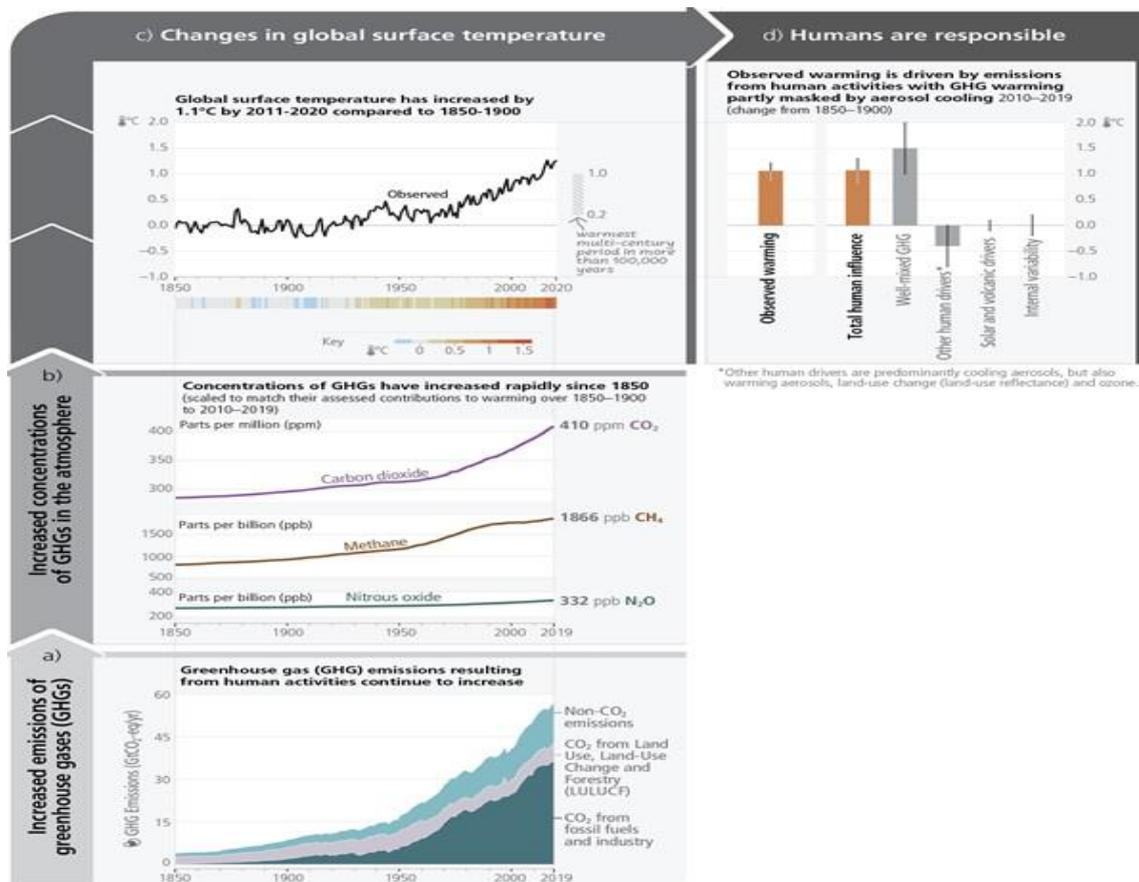


Figura 2. Atividades humanas são responsáveis pelo aquecimento global. a) Aumento das emissões de gases do efeito estufa; b) Aumento da concentração de gases de efeito estufa (GHG) na atmosfera; c) Mudança na temperatura da superfície global; d) Responsabilidade humana nas emissões. Fonte: Calvin et al. (2023).

Desde o 5º Relatório de Avaliação (AR5), avanços metodológicos importantes permitiram estimativas mais precisas e uma melhor representação

espacial do aquecimento, especialmente em regiões anteriormente sub-representadas, como o Ártico. Tais refinamentos metodológicos adicionaram cerca de 0,1 °C às estimativas anteriores, sem que isso represente aquecimento adicional real, mas sim maior precisão na detecção e mensuração do fenômeno (IPCC, 2021).

O relatório também evidencia que eventos climáticos extremos se tornaram mais frequentes e intensos em diversas regiões do planeta, incluindo ondas de calor, secas prolongadas, chuvas intensas e ciclones tropicais. As projeções para as próximas décadas indicam que, mesmo com esforços de mitigação, a temperatura média global poderá ultrapassar 1,5 °C já nas décadas de 2030 ou 2040, caso não haja uma rápida redução das emissões líquidas de gases de efeito estufa (IPCC, 2023; Rockström *et al.*, 2023).

Esses dados reforçam a urgência da adaptação e da resiliência climática, especialmente em setores como a agricultura, que dependem fortemente das condições ambientais estáveis para garantir segurança alimentar e desenvolvimento econômico sustentável.

2.1. Intensificação dos extremos climáticos e vulnerabilidades regionais

De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (2021) e a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2023), as mudanças climáticas estão promovendo o aumento da frequência, intensidade e duração de eventos climáticos extremos em praticamente todas as regiões do globo. Ondas de calor, precipitações intensas, secas prolongadas e ciclones tropicais tornaram-se significativamente mais comuns desde a década de 1970, enquanto eventos de frio extremo vêm-se tornando menos frequentes e menos intensos.

Um dos fatores que agravam esses extremos é o aumento da evapotranspiração causado pelas temperaturas mais elevadas, o que contribui para a intensificação de secas agrícolas e ecológicas, especialmente em áreas com déficit hídrico persistente (IPCC, 2021; Rockström *et al.*, 2023). Esses efeitos, contudo, não ocorrem de maneira homogênea, pois características geográficas, topográficas e climáticas regionais modulam a vulnerabilidade dos ecossistemas e das populações humanas (Sampaio *et al.*, 2022).

No contexto brasileiro, as regiões Norte e Nordeste se destacam por sua maior suscetibilidade aos impactos das mudanças climáticas. Isso se deve, principalmente, à sua localização em latitudes mais baixas, ao predomínio de biomas sensíveis, como a Amazônia, Caatinga e Cerrado, e à combinação de alta radiação solar com vulnerabilidades socioambientais. Projeções indicam tendências preocupantes para esses biomas, com elevação acentuada das temperaturas e redução significativa da precipitação média ao longo do século XXI (Tanure, 2020; Lapola *et al.*, 2023).

Já os biomas localizados nas regiões Sul e Sudeste, como a Mata Atlântica e o Pampa, apresentam projeções mais moderadas de aumento térmico e, em algumas simulações, tendência de acréscimo nos índices pluviométricos, especialmente a partir da segunda metade do século (Tanure, 2020; IPCC, 2021).

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos cenários projetados de aumento de temperatura por bioma, considerando três intervalos temporais de projeção climática:

Tabela 1. Cenários projetados de aumento de temperatura por bioma, considerando três intervalos temporais de projeção climática:

Bioma	2011–2040	2041–2070	2071–2100
Amazônia	1,0 – 1,5	3,0 – 3,5	5,0 – 6,0
Caatinga	0,5 – 1,0	1,5 – 2,5	3,5 – 4,5
Cerrado	1,0	3,0 – 3,5	5,0 – 5,5
Pantanal	1,0	2,5 – 3,0	3,5 – 4,5
Mata Atlântica (NE)	0,5 – 1,0	2,0 – 3,0	3,0 – 4,0
Mata Atlântica (S/SE)	0,5 – 1,0	1,5 – 2,0	2,5 – 3,0
Pampa	1,0	1,0 – 1,5	2,5 – 3,0

Fonte: IPCC, 2021.

2.2. Painel atual sobre as mudanças climáticas

As últimas quatro décadas foram, sucessivamente, as mais quentes desde o início dos registros instrumentais em 1850. A temperatura média global da superfície terrestre e oceânica entre os anos de 2001 e 2020 foi aproximadamente 0,99°C [0,84–1,10] superior à média do período pré-industrial (1850–1900). No intervalo de 2011 a 2020, esse aumento atingiu 1,09°C [0,95–1,20], com os maiores acréscimos registrados nos continentes (1,59°C [1,34–1,83]), em comparação aos oceanos (0,88°C [0,68–1,01]) (Calvin *et al.*, 2023; IPCC, 2023).

Desde a publicação do Quinto Relatório de Avaliação (AR5), os aprimoramentos metodológicos e a inclusão de novos conjuntos de dados resultaram em uma estimativa de temperatura ligeiramente superior, acrescentando cerca de 0,1°C à média global. No entanto, esse acréscimo não indica um aquecimento físico adicional desde o AR5, mas sim uma melhoria na representação espacial do aquecimento, especialmente em regiões como o Ártico (IPCC, 2023).

Esses dados revelam um cenário preocupante de intensificação das mudanças climáticas, com impactos cada vez mais evidentes nos ecossistemas, na segurança alimentar e nos modos de vida das populações vulneráveis. A Tabela 2 apresenta projeções da variação percentual da precipitação em diferentes biomas brasileiros ao longo do século XXI.

As alterações nos regimes de precipitação evidenciam um padrão de redução acentuada nas regiões norte, nordeste e centro-oeste, enquanto as regiões sul e sudeste tendem a apresentar aumento de precipitação, o que pode provocar eventos extremos, como secas e enchentes, impactando diretamente a produção agrícola.

Um dos desafios mais imediatos e urgentes das mudanças climáticas é o impacto direto na agricultura, afetando os ciclos fenológicos, a produtividade e a qualidade das culturas. Tais efeitos impõem riscos significativos à estabilidade econômica, à segurança alimentar e aos meios de subsistência de milhões de agricultores em todo o mundo (IPCC, 2023; Yuan *et al.*, 2024).

Tabela 2. Projeções da variação percentual da precipitação em diferentes biomas brasileiros ao longo do século XXI

Bioma / Período	2011–2040	2041–2070	2071–2100
Amazônia	-10	-25 / -30	-40 / -45
Caatinga	-10 / -20	-25 / -35	-40 / -50
Cerrado	-10 / -20	-20 / -35	-35 / -45
Pantanal	-5 / -15	-10 / -25	-35 / -45
Mata Atlântica (NE)	-10	-20 / -25	-30 / -35
Mata Atlântica (S/SE)	+5 / +10	+15 / +20	+25 / +30
Pampa	+5 / +10	+15 / +20	+35 / +40

Fonte: Prado Tanure, 2020.

3. Lavouras de café afetadas por desastres naturais

O café, uma das *commodities* agrícolas mais valiosas do mundo, enfrenta um futuro cada vez mais incerto diante dos impactos das mudanças climáticas. Regiões atualmente consideradas ideais para o cultivo do café arábica, como a América Central e do Sul — especialmente o Brasil —, podem tornar-se significativamente menos propícias até meados do século (Bunn *et al.*, 2021; Läderach *et al.*, 2023).

Estudos recentes apontam que eventos climáticos extremos, como secas, inundações e geadas, têm causado sérios prejuízos à produção cafeeira. As secas prolongadas podem provocar estresse hídrico, afetando negativamente o florescimento, a frutificação e o enchimento dos grãos. Em contrapartida, inundações comprometem o sistema radicular das plantas e favorecem o surgimento de doenças fúngicas, como a podridão radicular (Ovalle-Rivera *et al.*, 2022).

A relação entre precipitação e produtividade também foi demonstrada por Múnera-Roldán *et al.* (2020), que verificaram que uma redução de 10% nas chuvas durante o período de floração pode ocasionar perdas de até 25% na produção. De forma semelhante, eventos de geada tendem a causar necrose nos ramos produtivos e danificação dos grãos, resultando em menor valor comercial e sensorial (Figura 3).



Figura 3. Cafeeiro sob condições ideais: exceção nos dias atuais. Fonte: <https://sindicafe-mg.com.br/posts/fase-da-maturacao-do-grao-de-cafe-necessita-cuidados>.

Além do impacto na produtividade, desastres naturais comprometem a qualidade dos grãos de café. Condições adversas, como seca severa, podem reduzir o teor de açúcares e compostos aromáticos nos frutos, além de elevar a acidez da bebida (Oliveira *et al.*, 2023). Esses efeitos culminam em cafés com menor pontuação sensorial, prejudicando nichos de mercado que valorizam bebidas finas.

Os impactos não se limitam ao campo agrônômico. Há profundas implicações socioeconômicas para os cafeicultores, especialmente os pequenos produtores. A redução na produtividade e na qualidade interfere diretamente na renda familiar, acentuando a insegurança alimentar e a vulnerabilidade socioeconômica. Segundo Gebre *et al.* (2023), na Etiópia, a elevação da temperatura e a irregularidade das chuvas podem levar à perda de milhares de postos de trabalho no setor cafeeiro até 2050, agravando desigualdades regionais (Figura 4).

Portanto, os desastres naturais, intensificados pelas mudanças climáticas, representam uma ameaça concreta ao futuro da cafeicultura global. A adoção de estratégias de adaptação — como o sombreamento, uso de variedades resistentes e práticas agroecológicas — torna-se urgente para garantir a resiliência do setor frente a esse novo cenário climático.



Figura 4. Lavoura de café conillon em Rio Bananal (ES) prejudicada pela seca. Foto: Sérgio Nunes para noticiasagricolas.com.

O Brasil se destaca como um dos principais centros de produção científica voltada à relação entre a cafeicultura e as mudanças climáticas, refletindo sua posição de liderança na produção mundial de café. A crescente preocupação com os impactos ambientais sobre a agricultura tem impulsionado pesquisas que buscam compreender e mitigar os efeitos das alterações climáticas sobre o cultivo do gênero *Coffea*, especialmente nas regiões tropicais. Uma análise bibliométrica realizada na base de dados Scopus, utilizando os descritores “*climate change*” e “*Coffea*” no período de 2019 a 2025, identificou 43 publicações científicas associadas a autores brasileiros, número que coloca o Brasil como o país com maior volume de produção acadêmica nesse tema específico, superando países como França, Portugal, Colômbia e Estados Unidos (SCOPUS, 2025) (Figura 5).

a região mais impactada entre cinco regiões litorâneas estudadas (Sanches; Christofolletti, 2023)

Segundo os autores, além do aumento da frequência, o Espírito Santo foi o único entre os locais analisados a registrar crescimento também nos eventos extremos de frio, resultando em maior amplitude térmica diária. Esses extremos têm gerado impactos significativos na biodiversidade local, incluindo alterações comportamentais, fisiológicas e mortalidade em espécies marinhas e terrestres, com implicações também para a saúde pública e produtividade agrícola ([FOLHA DO ES](#)).

No ecossistema costeiro, o Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD/ES), coordenado pela UFES, observou que cerca de 500 hectares de manguezal foram mortos em 2016 por combinação de estiagem extrema e uma tempestade de granizo com ventos superiores a 100 km/h. Essa perda representou aproximadamente 30% da área total do manguezal do estuário do rio Piraquê-Açu-Mirim, comprometeu cerca de 20% do estoque de carbono local e interrompeu a recuperação natural por pelo menos 15 meses após o evento.

Quanto às projeções futuras, análises de modelagem climática regional com base nos cenários CMIP6 (RCP ou SSP) indicam que, até 2080, algumas regiões do Espírito Santo poderão enfrentar (agenciabrasil.ebc.com.br+15Instituto de Estudos Climáticos+15Instituto de Estudos Climáticos+15Instituto de Estudos Climáticos):

- ✓ Aumento de até 70 dias a mais em anos secos consecutivos (CDD, *consecutive dry days*) na porção norte do estado, em cenários de altas emissões;
- ✓ Aumento de 20 a 40 dias de CDD no sul e sul-centro do estado, dependendo do cenário;
- ✓ Elevação de até +6 °C na temperatura média em determinadas regiões costeiras até os anos 2080 (sob SSP5-8.5).

Simultaneamente, projeta-se uma redução significativa na precipitação anual, com redução de até 1.000 mm em áreas de maior vulnerabilidade,

intensificando a aridez e os impactos sobre a agricultura e ecossistemas hídricos regionais (dados previstos pelo Instituto de Estudos Climáticos da UFES).

➤ Impactos e contexto

Esses dados evidenciam um quadro climático em rápida transformação no Espírito Santo, com:

- ✓ Ampliação de estresses térmicos para culturas sensíveis como o café;
- ✓ Intensificação da vulnerabilidade dos ecossistemas costeiros, especialmente manguezais, que exercem serviços ecossistêmicos cruciais;
- ✓ Aumento de impactos socioeconômicos sobre comunidades tradicionais, pescadores artesanais e pequenos produtores agrícolas.

Diante desse cenário, torna-se urgente implementar políticas públicas integradas que promovam:

- ✓ Monitoramento climático contínuo;
- ✓ Conservação e restauração de ecossistemas costeiros;
- ✓ Extensão técnica e apoio à agricultura adaptativa;
- ✓ Engajamento da sociedade civil na promoção da resiliência e da sustentabilidade ambiental no Espírito Santo.

5. Proliferação de Pragas e Doenças

A temperatura é um fator determinante para o desenvolvimento e a dinâmica populacional dos insetos-praga, influenciando diretamente o consumo de alimento, o crescimento, a mobilidade e a reprodução desses organismos (Yuan *et al.*, 2024). As flutuações térmicas decorrentes das mudanças climáticas têm potencializado o aumento das populações de pragas, bem como a expansão de suas áreas geográficas, o que acarreta perdas significativas na produção agrícola.

Singh *et al.* (2023) evidenciam que as alterações climáticas intensificaram tanto a frequência quanto a severidade das infestações por pragas e doenças, além de promover a dispersão de agentes patogênicos para regiões antes não afetadas, criando novos desafios para o manejo agrícola sustentável.

Embora as plantas possuam mecanismos naturais de resistência e adaptação, variações abruptas e anômalas de temperatura e disponibilidade hídrica aumentam sua vulnerabilidade, dificultando o controle fitossanitário. No caso do cafeeiro (*Coffea arabica*), doenças fúngicas e ataques de pragas têm se tornado mais frequentes, estendendo-se para altitudes e regiões que anteriormente ofereciam condições menos favoráveis para sua ocorrência (Parada-Molina *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022).

Os fungos fitopatogênicos geralmente apresentam uma faixa térmica mais ampla de sobrevivência do que a planta hospedeira, que se desenvolve melhor em temperaturas entre 18°C e 21°C. Por isso, essas doenças tendem a ser menos afetadas pelas mudanças climáticas do que o próprio cafeeiro, podendo, inclusive, expandir sua incidência com o aumento da temperatura e alteração dos regimes pluviométricos (DaMatta *et al.*, 2007; Ruiz *et al.*, 2013; Parada-Molina *et al.*, 2020).

Além disso, o aumento da temperatura e a intensificação de eventos extremos — como períodos prolongados de umidade elevada seguidos de chuvas intermitentes — favorecem a propagação de doenças fúngicas em regiões quentes e úmidas, o que pode comprometer a adequação de áreas atualmente consideradas ideais para a cultura do café (Parada-Molina *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2023).

Entre as principais doenças fúngicas que afetam o cafeeiro, destacam-se:

- ✓ **Ferrugem alaranjada (*Hemileia vastatrix*):** doença que ataca as folhas e pode reduzir a produtividade em até 30% se não controlada. Desenvolve-se em ambientes úmidos e quentes, sendo favorecida por temperaturas entre 25°C e 28°C, umidade noturna acima de 90% e chuvas leves constantes por 20 a 30 dias (Parada-Molina *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022).

- ✓ **Mancha-de-ferro (*Cercospora coffeicola*):** manifesta-se por manchas necróticas circulares que causam desfolha e comprometem o crescimento, ocorrendo em temperaturas entre 15°C e 30°C e alta umidade (Barguil *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2023).
- ✓ **Antracnose (*Colletotrichum coffeanum*):** disseminada principalmente durante a estação chuvosa, provoca manchas necróticas em folhas, flores e frutos, levando à queda prematura do fruto (Parada-Molina *et al.*, 2020).
- ✓ **Olho-de-galo (*Mycena citricolor*):** comum em condições úmidas e temperaturas amenas, afeta folhas e frutos, resultando também na queda destes (Oliveira *et al.*, 2023).

6. Perda de fertilidade do solo

A erosão hídrica constitui uma das principais formas de degradação do solo em regiões tropicais, comprometendo sua estrutura e capacidade produtiva (Carvalho *et al.*, 2007). Esse processo remove sedimentos, carbono orgânico, nutrientes essenciais e água por meio do escoamento superficial, elementos fundamentais para a produtividade agrícola e o equilíbrio ecológico do solo (Wang *et al.*, 2021). Como consequência, ocorre a redução das áreas agricultáveis, a perda da fertilidade do solo e a diminuição da produtividade agrícola, o que representa um risco crescente à segurança alimentar global e à sustentabilidade dos ecossistemas terrestres.

Os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) destacam que o aumento das temperaturas globais está associado à maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, incluindo precipitações intensas (IPCC, 2023). Esse aumento na intensidade pluviométrica eleva o volume do escoamento superficial, potencializando a erosão hídrica e as perdas de solo e nutrientes por transporte, acelerando a degradação dos sistemas agrícolas.

Estudos recentes enfatizam o impacto da erosão na perda de nutrientes em áreas cultivadas com café. Atanaw, Zimale e Ayenew (2025) mensuraram uma produção de sedimentos que variou de 54 a 186,5 t·ha⁻¹·ano⁻¹ em uma bacia

hidrográfica da Etiópia, indicando o potencial severo de erosão em regiões tropicais.

No Espírito Santo, Souza *et al.* (2025) avaliaram a perda de nutrientes do solo em áreas cultivadas com café, após eventos pluviométricos na região de Itapina, município de Colatina. Os resultados demonstraram que áreas com solo exposto apresentaram perdas muito superiores de sedimentos e nutrientes em comparação às áreas manejadas com plantas de cobertura, conforme mostra a Tabela 4.

Manejo do Solo	Sedimento (kg/ha)					Escoamento Superficial (kg/ha)		
	Corgânico	P	K	Ca	Mg	N	P	K
	Setembro/ 2021 – Março/ 2022							
Solo Exposto	890	3,90	20,48	76,2	18,03	27,5	0,58	107,3
Planta de Cobertura 1	140	0,50	2,50	10.1	2.61	33.0	0.45	61.6
Planta de Cobertura 2	141	0,50	4,07	11.0	3.20	21.7	0.32	60.2
	Setembro/ 2022 – Dezembro/ 2022							
Solo Exposto	347	1.03	5.29	25.5	5.30	16.5	0.52	52.2
Planta de Cobertura 1	122	0.43	1.82	9.3	1.69	11.1	0.46	53.4
Planta de Cobertura 2	102	0.47	0.98	8.8	1.18	7.5	0.40	35.2

Fonte: Souza *et al.*, 2025.

7. Contribuição de práticas agroecológicas para a cafeicultura em cenário de mudanças climáticas

A adoção de práticas agroecológicas e regenerativas na cafeicultura tem se mostrado uma estratégia essencial frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas. Essas práticas promovem a resiliência dos

agroecossistemas, aumentam a fertilidade do solo, favorecem a biodiversidade e reduzem a dependência de insumos externos, contribuindo para mitigar os efeitos das alterações climáticas e garantir a sustentabilidade da produção cafeeira em longo prazo.

Segundo Altieri *et al.* (2022), os sistemas agroecológicos, por integrarem princípios ecológicos no manejo agrícola, são capazes de conservar recursos naturais e fortalecer os mecanismos naturais de adaptação, tornando a agricultura mais resistente a estresses ambientais como secas e ondas de calor. Já Gatti *et al.* (2021) destacam que a regeneração do solo por meio de práticas como a adubação verde, o consórcio de culturas e a cobertura permanente do solo é fundamental para aumentar o sequestro de carbono, melhorar a retenção hídrica e reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

Além disso, estudos recentes têm demonstrado que a implementação de Sistemas Agroflorestais (SAFs) na cafeicultura é uma alternativa viável e eficiente, pois associa a produção agrícola à conservação ambiental. Para Tiftonell *et al.* (2023), os SAFs oferecem microclimas favoráveis, promovem a ciclagem de nutrientes e favorecem uma maior estabilidade ecológica nas lavouras de café, sendo recomendados como uma das principais estratégias de adaptação às mudanças climáticas nos trópicos.

Portanto, práticas agroecológicas e regenerativas representam não apenas uma alternativa viável, mas uma necessidade para a cafeicultura diante das mudanças climáticas. Elas contribuem para a construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis, produtivos e socialmente justos, promovendo segurança alimentar e conservação ambiental.

8. Considerações

As mudanças climáticas configuram um desafio crescente e multifacetado para a cafeicultura no Espírito Santo, impactando não apenas a produtividade, mas também a qualidade dos grãos, a sustentabilidade socioeconômica das comunidades envolvidas e a preservação ambiental das regiões cafeeiras. A intensificação dos eventos climáticos extremos, a elevação das temperaturas e

as alterações nos padrões pluviométricos exigem respostas rápidas e eficazes para garantir a continuidade dessa importante atividade econômica e cultural.

Neste contexto, a adoção de estratégias proativas de mitigação e adaptação torna-se fundamental. Práticas agrícolas inovadoras e sustentáveis, como o uso de sistemas agroflorestais, manejo conservacionista do solo, diversificação de cultivares adaptados a condições climáticas variáveis, e o monitoramento contínuo de pragas e doenças, são ferramentas essenciais para aumentar a resiliência das lavouras e minimizar os impactos adversos.

Este estudo fornece subsídios técnicos e científicos relevantes para a formulação de políticas públicas que apoiem a implementação dessas práticas, fortalecendo a capacidade de resposta do setor frente às adversidades climáticas. Além disso, destaca a importância da integração entre produtores, pesquisadores, órgãos governamentais e instituições de ensino para o desenvolvimento de soluções regionais eficazes e contextualizadas.

Ademais, enfatiza-se a necessidade de investimentos em tecnologias de sensoriamento remoto e modelagem climática, que permitam o mapeamento preciso das áreas vulneráveis e a antecipação de riscos, facilitando a tomada de decisões estratégicas e a adoção de manejos personalizados conforme as especificidades locais.

Por fim, ressalta-se que a sustentabilidade da cafeicultura capixaba depende não apenas da adaptação às mudanças ambientais, mas também do fortalecimento das dimensões social e econômica da produção. Incentivar a capacitação dos agricultores, promover o acesso a mercados diferenciados e fomentar práticas que valorizem a biodiversidade são aspectos cruciais para assegurar um futuro resiliente e sustentável para o café do Espírito Santo e para as comunidades que dele dependem.

8. Referências

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; HENAO, A. Agroecologia e resiliência climática: construindo sistemas alimentares sustentáveis e adaptáveis. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 46, n. 2, p. 123-140, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2021.1940567>.

ASSAD, E. D., PINTO, H. S., ZULLO JUNIOR, J., & ÁVILA, A. M. H. (2004). Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 39, 1057-1064.

ATANAW, S. B.; ZIMALE, F. A.; AYENEW, T. Assessment of erosion, sediment yield, and runoff generating areas in Dirima catchment, upper Blue Nile, Tana Basin, Ethiopia. **Sustainable Water Resources Management**, v. 11, n. 1, p. 2, 11 fev. 2025.

BARBOSA, J. N. *et al.* Climate change and coffee quality: Systematic review and perspectives. **Agronomy**, v. 10, n. 10, p. 1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101559>.

BARGUIL, C. *et al.* Controle da cercosporiose em café utilizando produtos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 610-615, 2005.

BIEMONT, E.; RODRIGUES, A. C.; VIANA, A. P.; RODRIGUES, S. The effect of drought stress on coffee bean quality. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1118-1124, 2016.

BUNN, C. *et al.* A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. **Climatic Change**, v. 170, p. 1-19, 2021. DOI: 10.1007/s10584-021-03260-0.

CALVIN, K. *et al.* **IPCC, 2023: Climate Change 2023 - Synthesis Report, Summary for Policymakers.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. (P. Arias *et al.*, Eds.). [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>>. Acesso em: 13 abr. 2025.

CAMARGO, M. B. P.; CAMARGO, A. P. Definição das faixas térmicas para o cultivo de café arábica no Brasil. **Bragantia**, v. 80, p. 450-460, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200627>

CARVALHO, R. *et al.* Erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1475-1482, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400037>.

CÉSAR PARADA-MOLINA, P. *et al.* **Hemileia vastatrix**: una prospección ante el cambio climático *Hemileia vastatrix*: a climate change prospect Nota científica. [s.d.].

COHEN, M. J. *et al.* Climate Change and Agriculture: Impacts and Adaptation. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 38, p. 283-307, 2013. DOI: 10.1146/annurev-environ-012312-110923.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café: Safra 2023 – Primeiro levantamento**. Brasília: CONAB, 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Safra 2020. Terceiro Levantamento Setembro 2020, v. 6, n. 3. p. 1-54. 2020. **Acompanhamento da safra brasileira**. Disponível em: www.conab.com.br. Acesso em: 12 jan. 2021.

DAMATTA, F. M. *et al.* Impact of temperature on coffee physiology and disease incidence. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 229-242, 2007.

GATTI, L. V. *et al.* Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, v. 595, p. 388–393, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>.

GEBRE, T. *et al.* Climate change, coffee livelihoods and migration: evidence from Ethiopia. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 4, 2023. DOI: 10.1088/1748-9326/acc1f4.

GRÜTER, R.; TRACHSEL, T.; LAUBE, P.; JAISLI, I. **Expected global suitability of coffee**, cashew and avocado due to climate change. *PloS one*, v. 17, n. 1, p. e0261976, 2022.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Boletim Agroclimático Trimestral – Julho a Setembro 2023**. Vitória: Incaper, 2023.

INCAPER. Instituto Capixaba De Pesquisa, Assistência Técnica E Extensão Rural. **Boletim-agroclimatico-ES-v10-n.3-jul-set-2023**. Disponível em: <<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/4495/1/Boletim-agroclimatico-ES-v10-n.3-jul-set-2023.pdf>>. Acesso: 10 nov. 2023.

INSTITUTO DE ESTUDOS CLIMÁTICOS – UFES. **Projeções de mudanças climáticas para o Espírito Santo: modelagem regional CMIP6** (temperatura e precipitação). Vitória, 2024.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Sexto Relatório de Avaliação** – AR6: Sumário para formuladores de políticas. Genebra: IPCC, 2023.

LÄDERACH, P. *et al.* Climate adaptation strategies in coffee production: a global overview. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 43, p. 25, 2023. DOI: 10.1007/s13593-023-00849-7.

LOPES, A. L.; OLIVEIRA, F. S. de. Percepções e representações sociais sobre a degradação dos manguezais de Vitória/ES. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 1-10, 2020.

MULLER, N.; RICK, C.; GERDTS, K.; HARVEY, K. Impact of climate change on coffee production in Colombia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 211, p. 150-167, 2015.

MÚNERA-ROLDÁN, L. S. *et al.* Water deficit in *Coffea arabica* during flowering and bean filling: impacts on yield and quality. **Agricultural Water Management**, v. 241, 106373, 2020. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106373.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide**. Mauna Loa Observatory, 2023. Disponível em: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>. Acesso em: 04 ago. 2025.

OGUNDEJI, A. A. *et al.* Climate change and the future of coffee production in Africa: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 30, p. 1329–1341, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14108>

OGUNDEJI, B. A. *et al.* Climate Hazards and the Changing World of Coffee Pests and Diseases in Sub-Saharan Africa. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-12, 2019.

OLIVEIRA, F. A. *et al.* Climate change impacts on coffee diseases and integrated pest management. **Crop Protection**, v. 158, 105951, 2023. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105951.

OLIVEIRA, G. P. *et al.* Drought stress in *Coffea arabica*: implications for bean quality and secondary metabolism. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 6, p. 2154-2162, 2023. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c07514.

OVALLE-RIVERA, O. *et al.* Projected shifts in *Coffea arabica* suitability due to climate change and implications for pest and disease pressure. **Agricultural Systems**, v. 195, p. 103293, 2022. DOI: 10.1016/j.agsy.2021.103293.

PARADA-MOLINA, R. *et al.* Coffee diseases under climate change scenarios: a review. **Plant Pathology**, v. 69, n. 4, p. 622-635, 2020.

PINHO, R. G. V. *et al.* Impactos do aumento da temperatura sobre a produtividade de culturas agrícolas no Brasil. **Revista Brasileira de**

Climatologia, v. 29, p. 1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v29i0.74832>

PRADO TANURE, M. C. **Biomass brasileiros**: impactos das mudanças climáticas na biodiversidade e nos regimes hidrológicos. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2020.

PRADO TANURE, M. L. Variações climáticas e seus efeitos sobre a produção agrícola no Brasil. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 40, p. 215-234, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte.v11i40.12345>.

PRADO TANURE, T. M. do. **Mudanças climáticas e agrícolas no Brasil**: impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal. 2020.

REYES, M. et al. Socioeconomic impacts of climate change on coffee production in Ethiopia. **World Development**, v. 93, p. 178-192, 2021.

ROCHA PINHO, L. G. da; BITENCOUT, L. L.; SOUZA, G. S. de; LEAL, É. D. A. S.; SOUZA LINO, L. de; ALVES, A. G.; ELIAS, J. Mudanças climáticas e a produção de café conilon na microrregião centro-oeste do estado do Espírito Santo. **Revista Ifes Ciência**, v. 7, n. 1, p. 01-14, 2021.

ROCKSTRÖM, J. *et al.* Safe and just Earth system boundaries. **Nature**, v. 619, p. 521-528, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8>.

RODRIGUES, W. N. et al. Produção de café e mudanças climáticas: Diagnóstico e estratégias de mitigação. **Revista Agroecossistemas**, v. 13, n. 2, p. 45–59, 2021.

RUÍZ, D. P. *et al.* Temperature and humidity effects on coffee rust infection and disease development. **Phytopathology**, v. 103, n. 5, p. 441-451, 2013.

SANCHES, F. H. C.; CHRISTOFOLETTI, R. **Espírito Santo lidera o aumento expressivo de extremos de temperatura na costa brasileira em 40 anos**. Scientific Reports, 2023. Disponível em: Folha do ES. Acesso em: 04 ago. 2025. Universidade Federal do Espírito Santo+2Universidade Federal do Espírito Santo+2Blog da UFES+2agencia.fapesp.br+2FOLHA DO ES+2Unifesp+2.

SANCHES, F. H. ; MARTINS, F. R. ; CONTI, W. R. ; CHRISTOFOLETTI, R. A. The increase in intensity and frequency of surface air temperature extremes throughout the western South Atlantic coast. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 6293, 2023.

SCOPUS. **Base de dados bibliográfica da Elsevier**. Disponível em: <https://www.scopus.com>. Acesso em: 04 ago. 2025.

SILVA, A. A.; PINTO, H. S. Estratégias adaptativas da cafeicultura frente às mudanças climáticas no Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 17, n. 2, p. 105–117, 2023. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v17n200123>.

SILVA, M. A. *et al.* Recent trends in coffee disease outbreaks in Brazil and climatic drivers. **Plant Disease**, v. 106, n. 2, p. 402-410, 2022.

SINGH, B. K. *et al.* Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. **Nature Reviews Microbiology**, v. 21, n. 10, p. 640-656, 2023.

SINGH, R. *et al.* Climate change effects on pest and pathogen dynamics in agriculture. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 25, n. 1, p. 12-28, 2023.

SOUZA, G. S. De *et al.* Cover crops in between-rows of Coffea canephora for reduction of soil erosion. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 49, 2025.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Uso da modelagem para avaliação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas em cenários de mudanças climáticas: o caso do ribeirão Entre Ribeiros, afluente do rio Paracatu. **Diário Oficial da União**. Seção 3 (Online). , v. 3, p. 234-245, 2010.

TANURE, T. M. do P. **Mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal**. [s.l: s.n.].

TITTONELL, P. *et al.* Scaling agroecology: from field to territory. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 43, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00869-2>.

UFES. Universidade Federal do Espírito Santo. **Pesquisa do PELD/ES registra morte de 500 ha de manguezais em 2016 por seca e tempestade de granizo**. Vitória, 2025. Universidade Federal do Espírito Santo+2Universidade Federal do Espírito Santo+2Universidade Federal do Espírito Santo+2

UFES. Universidade Federal do Espírito Santo. **Pesquisa mostra que mudanças climáticas ameaçam a zona costeira do Espírito Santo**. 11 de abril de 2022. Disponível em: <https://www.ufes.br/conteudo/pesquisa-mostra-que-mudancas-climaticas-ameacam-zona-costeira-do-espírito-santo>.

UFES. **Projeções de Mudanças Climáticas para o Espírito Santo Utilizando Modelagem Regional de Alta Resolução**. 2013. Disponível em: Projeções de Mudanças Climáticas para o Espírito Santo Utilizando Modelagem Regional de Alta Resolução | Instituto de Estudos Climáticos (ufes.br)

VERDINASSI, M. *et al.* Climate change impacts on coffee crop in Brazil: A systematic review. **Agricultural Systems**, v. 194, p. 103275, 2021. DOI: 10.1016/j.agsy.2021.103275.

WMO. World Meteorological Organization. **State of the Global Climate 2023**. Geneva: WMO, 2023. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/resources/library>. Acesso em: 04 ago. 2025.

YUAN, S. *et al.* Temperature impacts on insect pest development and crop losses. **Journal of Agricultural Science**, v. 162, n. 1, p. 34-45, 2024.

YUAN, W. *et al.* Climate change impacts on crop yield and food security: A global synthesis. **Global Environmental Change**, v. 85, 2024. DOI: 10.1016/j.gloenvcha. 2024.103185.

YUAN, X. *et al.* **Impacts of global climate change on agricultural production: a comprehensive review.** **Agronomy** Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 jul. 2024.

ZULUAGA, M. Y. A. *et al.* Potential shifts in coffee-growing areas under climate change in Brazil. **Climatic Change**, v. 170, p. 15, 2022. DOI: 10.1007/s10584-021-03297-6.

CAPÍTULO 2

Três faces da sustentabilidade rural: agroecologia, agricultura orgânica e transição agroecológica

Barbara Petri Massariol, Igor Borges Peron, Joana Scarparo Novello, Mayra da Silva Polastrelli Lima, Daniel Schwan Monteiro de Sousa, José Elias Alves Adão, Willian Moreira da Costa, Palloma Pamela Moura Azevedo, Márcio Menegussi Menon, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c2>

Resumo

A crescente busca por uma vida saudável tem impulsionado o consumo de alimentos sem agrotóxicos, destacando a importância da qualidade dos alimentos. A agricultura orgânica surge como alternativa sustentável aos modelos convencionais, promovendo o equilíbrio ecológico por meio de práticas naturais e livres de pesticidas. Fundamentada na agroecologia, essa forma de produção visa a harmonia com o meio ambiente e a oferta de alimentos saudáveis. A expansão do mercado orgânico estimula estudos em diversas áreas e exige rigor técnico, garantido por legislação específica. A transição agroecológica, especialmente em pequenas propriedades, representa um processo gradual de transformação nas práticas e nas concepções dos agricultores, promovendo uma gestão sustentável dos recursos e fortalecendo a relação entre campo e consumidor. Apesar de serem frequentemente utilizados de forma intercambiável, ainda há dúvidas quanto aos conceitos de agroecologia, agricultura orgânica e transição agroecológica. Este artigo tem como objetivo esclarecer as distinções entre essas denominações.

Palavras-chave: Agricultura. Transição agroecológica. Ecologia. Sustentabilidade. Equilíbrio ecológico.

1. Introdução

A busca por uma vida mais saudável tem impulsionado a valorização da qualidade dos alimentos, estimulando o consumo de produtos cultivados sem agrotóxicos. Nesse contexto, a agricultura orgânica surge como uma alternativa sustentável aos sistemas convencionais de produção, destacando-se por práticas que respeitam os ciclos naturais dos ecossistemas e promovem o equilíbrio ecológico, social e econômico.

Segundo Souza *et al.* (2012), Peron *et al.* (2024) e Souza (2025), a produção orgânica baseia-se na exclusão de insumos sintéticos, como pesticidas, fertilizantes químicos, organismos geneticamente modificados, conservantes, aditivos e medicamentos veterinários artificiais. Essa abordagem propõe um sistema produtivo integrado, que visa não apenas a obtenção de alimentos saudáveis, mas também a conservação dos recursos naturais e a valorização dos saberes locais.

A agricultura orgânica está fundamentada nos princípios da agroecologia, compreendendo a propriedade rural como um organismo agrícola complexo e interativo. Seu objetivo é maximizar o aproveitamento de recursos naturais, minimizar os custos de produção e promover a sustentabilidade dos agroecossistemas (Altieri; Nicholls, 2017; Peron *et al.*, 2024). Para o êxito da atividade, é essencial a presença de elementos conservados da paisagem, como matas ciliares, culturas permanentes e temporárias, corredores ecológicos, zonas de refúgio e diversidade biológica funcional (Peron *et al.*, 2024; Souza, 2024; Souza *et al.*, 2025 ; Souza, 2025).

O mercado de produtos orgânicos apresenta crescimento contínuo, com taxas anuais estimadas entre 10% e 30% em nível global (IFOAM, 2023). No Brasil, segundo dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2023), há mais de 30 mil produtores orgânicos cadastrados no Cadastro Nacional da Produção Orgânica, sendo a maioria agricultores familiares. As hortaliças orgânicas continuam sendo o principal segmento, com destaque no consumo doméstico.

É importante ressaltar que a agricultura orgânica vai além da simples ausência de agrotóxicos. Seu manejo exige a adoção de práticas como a adubação verde, o uso de matéria orgânica para fertilização, a aplicação de

biofertilizantes e o controle biológico de pragas e doenças, promovendo ambientes com maior biodiversidade e produtos de alta qualidade nutricional (Moura; Campanhola, 2021).

No Brasil, a produção orgânica é regulamentada pela Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, e pelo Decreto nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007, sendo obrigatória a certificação para comercialização, exceto no caso da venda direta realizada por organizações de controle social (BRASIL, 2003; 2007). O Selo Nacional da Agricultura Orgânica, implementado pelo MAPA, garante a procedência dos produtos e a conformidade com os critérios técnicos, ambientais, sociais e trabalhistas estabelecidos pela legislação.

Portanto, a agricultura orgânica representa uma resposta concreta às demandas da sociedade por alimentos saudáveis e sistemas de produção sustentáveis, promovendo uma reconfiguração das práticas agrícolas e contribuindo para a soberania alimentar e o desenvolvimento rural sustentável (Peron *et al.*, 2024).

O desenvolvimento do selo nacional do produto orgânico (Figura 1) e demais instrumentos normativos pelo Ministério da Agricultura impulsiona ainda mais o setor nesse quesito, também são consideradas as relações sociais e trabalhistas envolvidas no processo produtivo.



Figura 1. Modelo de selo nacional do produto orgânico. Fonte: Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).

2. Fundamentos históricos e teóricos da agroecologia e da agricultura orgânica

A emergência da agricultura como prática sistemática exigiu, historicamente, a superação de limitações impostas pelo ambiente natural. A domesticação de plantas e animais só foi possível mediante o desenvolvimento de ferramentas e técnicas voltadas à transformação da paisagem natural. Com o passar do tempo, o aumento da demanda por produtividade levou à tentativa de reduzir a dependência das condições edafoclimáticas, principalmente em relação à fertilidade do solo e à disponibilidade hídrica (Souza, 2025).

A partir dos anos da década de 1920, observou-se a introdução dos primeiros pesticidas na agricultura. Contudo, foi com a Revolução Verde, nos anos das décadas de 1950 e 1960, que esses insumos passaram a ter papel central nas políticas agrícolas globais. A agricultura convencional passou a incorporar intensivamente insumos químicos, como fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas, impulsionados por grandes corporações multinacionais. Esses agentes promoveram o uso intensivo desses produtos com o objetivo de aumentar a produtividade, muitas vezes desconsiderando as especificidades ecológicas dos agroecossistemas (Mazzoleni; Nogueira, 2006; Altieri, 2012; Souza, 2024) (Figura 2).



Figura 2. Uso intensivo de pesticidas. Fonte: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/tecnologia/pesquisas/noticias/uso-de-pesticidas-agricolas>.

Como resultado, instalou-se um ciclo de dependência química na agricultura: quanto mais se utilizam agrotóxicos, maiores são os desequilíbrios ecológicos gerados, o que leva à necessidade de insumos ainda mais potentes, aplicados com maior frequência. O Brasil iniciou o uso do controle químico em 1943, mas sua intensificação ocorreu a partir dos anos da década de 1960, incentivada por políticas públicas e instrumentos legais voltados à modernização agrícola (Silva *et al.*, 2021).

Entretanto, diversas reações sociais e científicas emergiram em contraposição a esse modelo. A obra *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), de Rachel Carson, publicada em 1962, denunciou os efeitos tóxicos dos pesticidas, como o DDT, sobre a saúde humana e o meio ambiente, inaugurando uma nova consciência ambiental (Carson, 1964). No Brasil, Paschoal (1979) também alertou sobre os impactos dos pesticidas na saúde e na biodiversidade com a obra *Pragas, Pesticidas e a Crise Ambiental*.

Os anos da década de 1980 marcaram o crescimento da agricultura orgânica no Brasil, impulsionado por movimentos sociais, associações de agricultores familiares, organizações ambientalistas e centros de pesquisa. Segundo Valarini *et al.* (2005), essa expansão foi essencial para a construção de um novo paradigma agrícola pautado na sustentabilidade e na valorização do saber local.

Nesse contexto, a agroecologia emerge como um campo interdisciplinar que integra conhecimentos agronômicos, ecológicos, sociais e culturais. Para Altieri (2012), a agroecologia oferece os fundamentos científicos, metodológicos e éticos para uma transformação profunda nos sistemas agrícolas, promovendo sistemas biodiversos, resilientes, eficientes no uso de energia e socialmente justos.

Caporal e Costabeber (2001) enfatizam que a prática agroecológica deve atender simultaneamente às dimensões sociais, culturais, ambientais, políticas e econômicas. Deve, portanto, promover a participação ativa dos agricultores na tomada de decisões, respeitar o conhecimento tradicional, preservar os recursos naturais e garantir autonomia e soberania alimentar.

Atualmente, autores como Nicholls *et al.* (2020) e Gliessman (2021) reforçam a importância da agroecologia como estratégia central para enfrentar os desafios das mudanças climáticas, da erosão da biodiversidade e da insegurança alimentar. Além disso, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018) reconhece a agroecologia como um caminho viável para a transformação dos sistemas alimentares rumo à sustentabilidade.

A agroecologia ganha contornos mais amplos quando obedece às regras do equilíbrio (Figura 3).

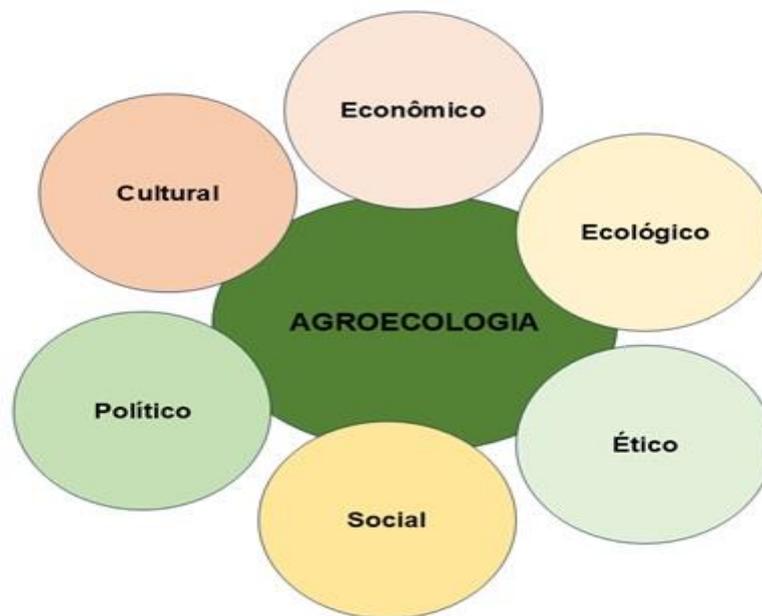


Figura 3. Agroecologia entrelaçada às regras do equilíbrio. Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir dos anos da década de 1980, os métodos agrícolas com menor impacto ambiental passaram a ser referidos como agricultura alternativa. Essa denominação abarca um conjunto diversificado de práticas e concepções filosóficas, metodológicas e técnicas, que podem incluir proibições específicas ao uso de determinados insumos. Essas abordagens recebem diferentes nomes, como natural, ecológica, biodinâmica, biológica ou orgânica, dependendo das particularidades do processo produtivo adotado (Peron *et al.*, 2024).

O conceito de agricultura alternativa emerge como resposta à insustentabilidade de modelos convencionais e à busca por formas mais

equilibradas de produção. Fundamentada em princípios ecológicos, essa modalidade agrícola visa à reciclagem de nutrientes e matéria orgânica, ao equilíbrio biológico no controle de pragas, à redução da dependência de insumos externos e ao uso diversificado da terra (Silva, 2004).

A agroecologia, por sua vez, é compreendida como uma ciência, prática e movimento social que propõe a construção de sistemas agroalimentares sustentáveis, integrando as dimensões ecológica, econômica, social, política e cultural do desenvolvimento rural (Altieri; Toledo, 2011; Ferguson; Mendoza; Chapman, 2019; Becker; Silva, 2021). A agroecologia fundamenta metodologicamente a agricultura orgânica, ao passo que esta se constitui como um dos caminhos práticos para sua aplicação, promovendo o uso racional dos recursos naturais, o respeito aos ciclos biológicos e a otimização da unidade produtiva no tempo e no espaço (Figura 4).



Figura 4. O sucesso do sistema produtivo depende do equilíbrio entre as entradas (como insumos, serviços e materiais) e as saídas (como as colheitas).

Fonte:

<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/766/1/Agroecologia>.

A produção orgânica, ao mesmo tempo em que visa a sustentabilidade ambiental, busca também o equilíbrio social e econômico, ao proporcionar alimentos saudáveis, fortalecer a agricultura familiar e contribuir para a segurança alimentar e nutricional (Mazzoleni; Nogueira, 2006; Nicholls; Altieri; Vazquez, 2016). Nesse sentido, os sistemas orgânicos se expandem como alternativa viável frente às crises do modelo agrícola convencional, marcado pela degradação dos recursos naturais, pela contaminação química e pela concentração fundiária (Souza, 2025).

De acordo com o Instituto Biodinâmico – IBD (1997), as unidades de produção orgânica devem perseguir metas que vão além dos objetivos econômicos, priorizando a qualidade dos alimentos, a preservação dos recursos naturais e o desenvolvimento humano dos sujeitos envolvidos no processo produtivo. Essa perspectiva é reforçada por Almeida *et al.* (2000), ao ressaltarem que a agricultura orgânica se caracteriza pela não utilização de pesticidas, antibióticos, hormônios e fertilizantes sintéticos altamente solúveis.

A adoção de princípios agroecológicos também se relaciona com a construção de projetos de vida dos agricultores. Brandenburg (2010) destaca que esses sujeitos articulam valores como autonomia, saúde, trabalho familiar e relações sociais em rede, reorganizando seus processos produtivos com base em princípios ecológicos. Essa organização fortalece o tecido social rural e contribui para a construção de territórios sustentáveis.

3. Transição agroecológica em pequenas propriedades

Embora a pequena propriedade tenha, gradualmente, ganhado espaço em relação à grande propriedade à medida que o tecido social brasileiro se desenvolveu, o agricultor familiar ainda é compreendido como um grupo social distinto. A grande propriedade, de um lado, e a pequena propriedade familiar, de outro, moldaram a estrutura fundiária do país, tornando-se a base de uma organização social singular no meio rural (Brandenburg, 2010; Souza, 2024).

Segundo Diniz e Diniz (1976), o Nordeste do Brasil segue a tendência nacional de concentração fundiária. Esse fenômeno, presente desde a primeira metade do século XX, atingiu seu auge nos anos das décadas de 1920 e 1930.

Nos dias atuais, a maior concentração fundiária no Brasil ainda ocorre nas regiões Centro-Oeste e Norte, especialmente nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará e partes do Tocantins e Bahia (oeste). Essas áreas concentram grandes propriedades voltadas principalmente para o agronegócio, como pecuária extensiva e monoculturas (soja, milho, algodão) (IBGE, 2017).

Apesar da histórica concentração fundiária no Nordeste, como apontado por Diniz e Diniz (1976), o avanço da fronteira agrícola e o modelo de expansão do agronegócio impulsionaram a formação de grandes latifúndios nas regiões de cerrado e floresta amazônica, agravando a concentração de terras nessas áreas.

Segundo dados mais recentes do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e do Censo Agropecuário de 2017 (IBGE):

- ✓ 1% dos estabelecimentos rurais detém mais de 45% da área total registrada no país;
- ✓ As maiores médias de área por imóvel rural estão em estados como Mato Grosso e Pará.

Esses dados evidenciam que a concentração fundiária permanece como um dos principais entraves à democratização da terra no Brasil, agora mais intensamente deslocada para o Centro-Oeste e Norte.

Apesar das mudanças sociais, o meio rural brasileiro ainda não se modernizou por completo, parte explicada pelo modelo acima descrito, diferentemente de outras nações desenvolvidas. Muitas regiões permanecem vinculadas a práticas tradicionais, mesmo diante da presença de setores modernizados. Assim, diferentes áreas rurais coexistem no mundo moderno, em uma vasta extensão marcada por espaços variados, do ponto de vista geográfico e de suas relações sociais predominantes (Brandenburg, 2010; Souza, 2024).

A continuidade — ou retomada — da produção agrícola em menor escala e sem uso de insumos químicos passou a representar, para muitos agricultores, não apenas uma ausência de alternativas diante da inacessibilidade da modernização, mas também uma oportunidade de reinserção no mercado. Gradualmente, os agricultores familiares começaram a incorporar a retórica dos alimentos orgânicos, um nicho de mercado em crescimento, seja por convicção, seja por necessidade.

A transição agroecológica pode ser compreendida como um processo lento e contínuo de transformação nas formas de gestão dos sistemas agrícolas. Representa um referencial importante para técnicos, acadêmicos e ativistas comprometidos com a sustentabilidade no campo (Peron *et al.*, 2024).

De maneira ampla, esse processo envolve a substituição progressiva de práticas convencionais por métodos de base ecológica. Trata-se de abandonar padrões de baixa sustentabilidade e adotar sistemas produtivos que respeitem os ciclos naturais e os limites ecológicos (Figura 5).

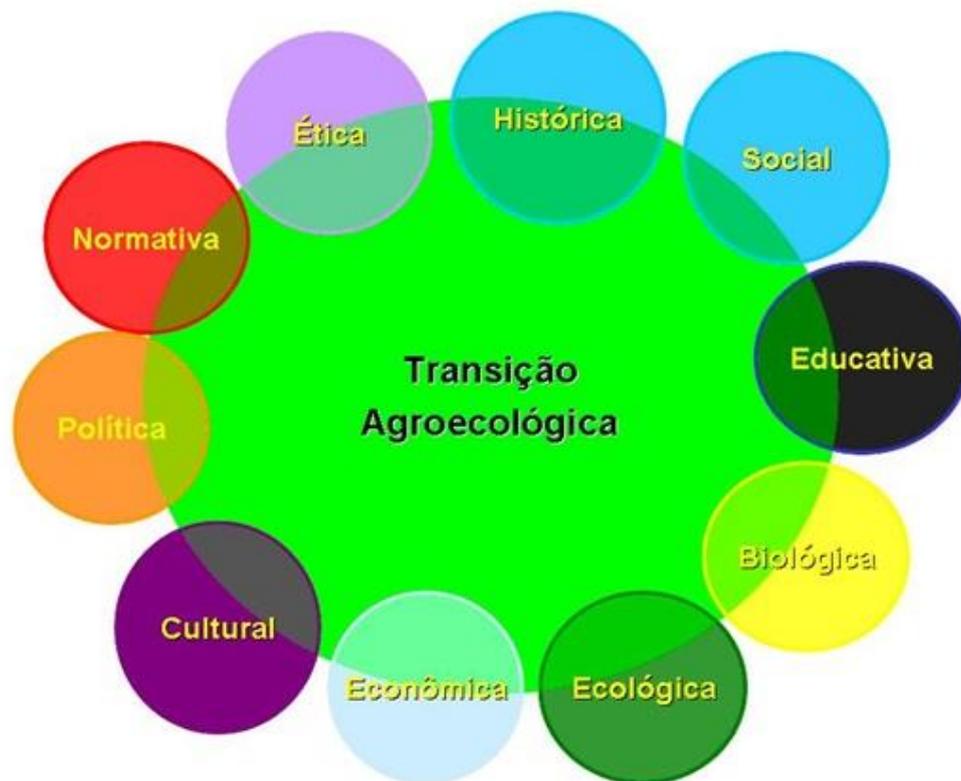


Figura 5. Transição agroecológica. Fonte: <https://sitioborigene.com.br/organicoeagroecologico/>.

Essa transição implica não apenas mudanças técnicas, mas também alterações nas atitudes, nas crenças e nas formas de relacionamento dos atores sociais com os recursos naturais. Pressupõe uma racionalização produtiva adaptada às particularidades biofísicas de cada agroecossistema

Antes de iniciar esse processo, é fundamental que técnicos e agricultores realizem, de forma colaborativa, uma análise aprofundada do agroecossistema.

Essa avaliação inicial é fundamental para garantir que a transição agroecológica esteja em consonância com as possibilidades e necessidades reais das famílias envolvidas. É necessário considerar que muitos agricultores familiares dependem da agricultura convencional para sua subsistência. A transição, portanto, deve ser viável e estrategicamente planejada para evitar vulnerabilidades durante o período de conversão ao sistema agroecológico (Figura 6).



Figura 6. Propriedade familiar em processo de transição agroecológica. Fonte: Dário Rodrigues, 2025.

Essa análise não deve restringir-se ao plano teórico. Precisa ser uma investigação prática das condições ambientais, dos recursos disponíveis, das técnicas já utilizadas e dos desafios enfrentados. Essa base empírica possibilita um planejamento estratégico das inovações, que devem ser compatíveis com as especificidades locais — incluindo clima, solo, biodiversidade e fatores socioeconômicos.

Além disso, recomenda-se que o processo inclua mecanismos de monitoramento contínuo, de modo que os impactos das práticas adotadas possam ser avaliados, ajustados e aprimorados ao longo do tempo. A colaboração estreita entre agricultores e técnicos é um dos pilares para o êxito dessa transição. Para apoiar essa transformação, a agroecologia — como

campo de estudo multidisciplinar — integra saberes científicos e populares, orientando-se pelos ideais de sustentabilidade em médio e longo prazo (Costabeber, 2006).

Embora a dimensão econômica frequentemente apareça como central nas análises sobre o tema, é consenso na literatura que a transição agroecológica não pode ser compreendida de forma unidimensional.

Estudos que articulam os elementos ambientais e sociais oferecem uma base teórica consistente para compreender as motivações e perspectivas de agricultores familiares envolvidos em processos de transição tecnológica e em formas organizativas voltadas à experimentação e adoção de práticas agrícolas ecologicamente orientadas (Altieri; Toledo, 2011).

Processos de transição agroecológica guiados unicamente por motivações materiais tendem a apresentar maior vulnerabilidade a mudanças conjunturais, podendo ser interrompidos diante do surgimento de novas oportunidades de sucesso econômico atreladas a técnicas agrícolas convencionais (Petersen *et al.*, 2013) (Figura 7).



Figura 7. Comunidade de Feliz Lembrança, Alegre, ES: caso de sucesso de transição agroecológica. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

A comunidade de Feliz Lembrança, na zona rural de Alegre, tornou-se exemplo de sucesso após a mobilização de jovens da igreja, que iniciaram ações

de coleta de lixo e reativaram a associação de produtores locais. Composta por 57 famílias em 26 alqueires de terra, a comunidade mantém uma agricultura familiar diversificada, cercada por áreas de pecuária extensiva.

De acordo com o Fábio de Souza, o “Fabim”, graças à iniciativa e à perseverança dos jovens, foi possível conter o êxodo rural, fomentar a economia local, conservar o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida. As ações contaram com o apoio do Incaper, da Prefeitura de Alegre, do Ifes campus de Alegre e de outros parceiros.

De acordo com Moreira (2003), a participação do agricultor em cada processo de transição é única, envolvendo graus distintos de incerteza quanto ao futuro. A opção por tornar o sistema produtivo mais ecológico, especialmente quando associada a esforços coletivos de mudança social, reduz os riscos inerentes às iniciativas individuais e, além das vantagens ambientais, fortalece os laços comunitários e o capital social dos territórios rurais.

Camargo (2007) reforça que esse processo deve ser construído a partir das especificidades de cada localidade, considerando seu processo histórico, sociocultural, organização social e territorial, e as relações simbólicas estabelecidas entre os sujeitos e a natureza. Dessa forma, de acordo com Gliessman (2015), a transição agroecológica não pode ser concebida como um modelo uniforme, mas como um processo territorializado e culturalmente enraizado.

Neste sentido, a ação coletiva entre agricultores familiares e a adoção de estratégias associativas não apenas favorecem o avanço da agricultura ecológica, mas constituem elementos centrais e fundantes do próprio processo de transição. Não são apenas resultados, mas motores da ecologização das práticas agrícolas (Ferreira; Grisa, 2020).

Um exemplo emblemático dessa dinâmica é o caso de Cuba, cuja experiência agroecológica consolidou-se no contexto da crise energética dos anos da década de 1990. Diante da escassez de agroquímicos e combustíveis fósseis, o país implementou, com apoio político, tecnologias fundamentadas no saber local, no conhecimento técnico e no uso racional de recursos naturais. A experiência cubana demonstrou que a conversão agroecológica exige mais do

que a substituição de insumos; requer vontade política, participação popular e reestruturação institucional (Wright, 2006).

Essa trajetória evidencia que a ausência de insumos industriais ou do setor agrícola privado não leva automaticamente a sistemas sustentáveis. A conversão para uma agricultura ecológica pressupõe liberdade de escolha e envolvimento ativo dos agricultores em todas as etapas do processo. A agroecologia, quando adotada como estratégia nacional, demonstrou ser tecnicamente viável, socialmente justa e economicamente rentável (Rosa; Ploeg, 2021).

Portanto, a transição agroecológica deve ser compreendida como um processo sistêmico, contínuo e multiescalar, que ultrapassa a simples substituição de insumos por alternativas "limpas". Trata-se de uma transformação profunda das relações entre sociedade, natureza e agricultura, com implicações sociais, culturais, políticas e econômicas (Souza *et al.*, 2025b).

4. Princípios e objetivos da agricultura orgânica

A agricultura orgânica reúne uma diversidade de objetivos que orientam sua prática, entre os quais se destacam:

- ✓ Desenvolver e adaptar tecnologias em conformidade com os requisitos sociais, econômicos e ecológicos específicos de cada região (Altieri; Toledo, 2011).

- ✓ Adotar uma abordagem integrada para gerir a propriedade rural como um organismo agrícola, valorizando a interação entre todas as suas atividades (Gliessman, 2015).

- ✓ Oferecer alimentos nutritivos, livres de resíduos químicos e com elevado valor biológico, contribuindo efetivamente para a saúde e a qualidade de vida das pessoas (Pimentel *et al.*, 2017).

- ✓ Estimular a diversificação da flora e da fauna dentro dos agroecossistemas, fortalecendo a biodiversidade local (Nicholls; Altieri, 2018).

- ✓ Reciclar nutrientes vitais para as plantas por meio da fixação biológica do nitrogênio e da mobilização eficiente no sistema solo/planta (Silva; Souza, 2021).

- ✓ Promover o bem-estar do organismo agrícola como um todo, garantindo o equilíbrio ecológico das unidades produtivas (Camargo, 2007).
- ✓ Manter e melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, prevenindo a erosão e a degradação (Brussaard *et al.*, 2019).
- ✓ Preservar a qualidade da água, evitando a contaminação por agentes químicos e biológicos (Rosa; Ploeg, 2021).
- ✓ Utilizar agentes de controle biológico e práticas de manejo fitossanitário para lidar com desequilíbrios ecológicos, reduzindo o uso de insumos sintéticos (Ferreira; Grisa, 2020).
- ✓ Buscar a produção ótima, priorizando a sustentabilidade e o equilíbrio, em detrimento da maximização indiscriminada da produtividade (Wright, 2006).
- ✓ Incentivar a autossuficiência das propriedades rurais, tanto em energia quanto em recursos financeiros (Petersen *et al.*, 2013).
- ✓ Fortalecer as relações entre produtores rurais e consumidores, promovendo uma maior proximidade e confiança (Moreira, 2003).
- ✓ Assegurar o bem-estar dos agricultores por meio da prática de uma agricultura sustentável e socialmente justa (Altieri; Toledo, 2011).
- ✓ Preservar e, ou, aumentar o estoque de carbono no agroecossistema, estimulando o sequestro de carbono atmosférico por meio da fotossíntese e do manejo adequado da biomassa e dos resíduos (Brussaard *et al.*, 2019).

5. Princípios da agricultura orgânica

O respeito aos princípios que norteiam a produção de alimentos orgânicos, assegurando produtividade e rentabilidade em sintonia com a natureza, é fundamental para a implantação efetiva da agricultura orgânica. Entre as orientações mais importantes, destacam-se:

5.1. Redesenho dos agroecossistemas com base na diversificação

Um dos maiores desafios da agricultura convencional é a predominância da monocultura, que simplifica o agroecossistema ao favorecer o domínio de poucas espécies, alterando as cadeias alimentares e reduzindo a biodiversidade local (Gliessman, 2000; Altieri; Silva; Nicholls, 2003). Essa simplificação torna os

sistemas produtivos mais suscetíveis a pragas e doenças, aumentando sua instabilidade e vulnerabilidade diante das adversidades ambientais.

Além disso, monoculturas extensas não contribuem para a manutenção do equilíbrio biológico, ambiental e econômico das propriedades rurais. Ao contrário, a preservação da fertilidade e da saúde do sistema agrícola depende da integração de múltiplas atividades e da diversidade de culturas, promovendo ciclos naturais de nutrientes e resistências biológicas.

Assim, a propriedade orgânica deve ser concebida como um organismo vivo, composto por sistemas integrados e interativos, como solo, animais, árvores e plantas cultivadas, que funcionam de forma sinérgica (Figura 8). Essa visão se opõe à ideia da propriedade como mero fornecedor de insumos e exportador de produtos. A lógica da agricultura orgânica está, portanto, na colheita de alimentos em harmonia com os processos naturais e ecossistêmicos (Altieri, 2009; Gliessman, 2015).



Figura 8. Agricultura orgânica e diversificada, Alegre, ES. Fonte: Acervo Maria Aparecida Fernandes, 2025.

5.2. Promoção do equilíbrio ecológico nos sistemas orgânicos

O equilíbrio ecológico é um componente essencial dos sistemas de produção orgânica, exercendo papel fundamental na regulação das populações de macro e microrganismos, o que contribui diretamente para a saúde das culturas. Diferentemente dos sistemas convencionais que dependem fortemente

de pesticidas e fertilizantes químicos, a abordagem agroecológica busca estabelecer uma harmonia duradoura entre os elementos biológicos e o ambiente agrícola (Altieri, 2009; Gliessman, 2015).

Nos sistemas orgânicos e agroecológicos, a manutenção de uma comunidade equilibrada de organismos contribui para o controle natural de pragas e doenças, mantendo-as em níveis que não causam prejuízos econômicos significativos às culturas. Esse equilíbrio biológico também evita desequilíbrios nutricionais nas plantas, favorecendo a estabilidade ambiental e a resiliência do sistema produtivo (Silva *et al.*, 2020).

O uso intensivo de produtos químicos, por outro lado, frequentemente provoca desequilíbrios na biodiversidade do solo, resultando em maior vulnerabilidade a pragas e doenças e no desenvolvimento de resistência em organismos-alvo, o que dificulta ainda mais o manejo (Ferreira; Santos, 2018).

A adoção de práticas agroecológicas, como a rotação de culturas, a compostagem e a utilização de agentes de controle biológico, constitui uma alternativa sustentável e eficaz para promover o equilíbrio ecológico (Figura 9). Além de preservar o solo e a biodiversidade, essas práticas fortalecem a saúde das plantas, contribuindo para a produção de alimentos nutritivos e ambientalmente responsáveis (Costa *et al.*, 2022; Moreira, 2003).

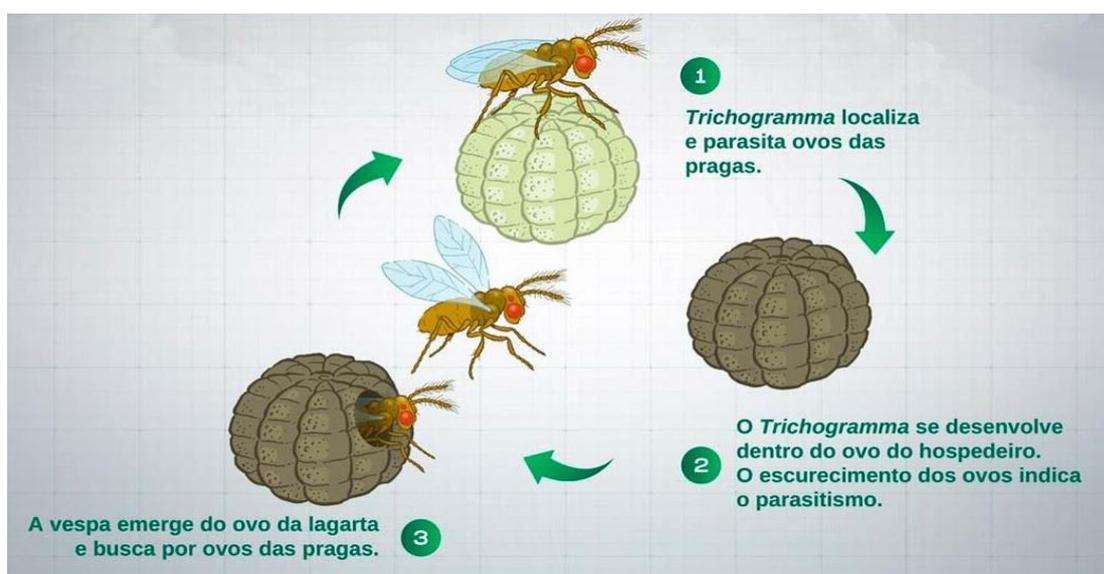


Figura 9. Modo de ação da vespa *Trichogramma* spp. Fonte: Koppert. Disponível em: <https://www.ruraltecv.com.br/guia-do-produtor-rural-como-implementar-o-controle-biologico-de-pragas/>.

5.3. Conservação e valorização de variedades locais adaptadas

A recuperação e preservação de sementes e propágulos de espécies adaptadas aos diferentes agroecossistemas locais constituem fundamentos essenciais tanto da agroecologia quanto da agricultura orgânica. Este princípio visa primordialmente ampliar e conservar a diversidade genética das sementes, que tem sofrido significativa redução nas últimas décadas, conforme alertado por Mooney (1987).

Nos sistemas orgânicos, a multiplicação e seleção de plantas desempenham papel fundamental na manutenção e obtenção de materiais genéticos com maior tolerância a pragas, patógenos e estresses ambientais. Tal processo fortalece a resistência natural das culturas, contribuindo para a diminuição dos custos de produção e para a estabilidade da produtividade em cultivos orgânicos (Ramos; Pereira, 2019; Silva *et al.*, 2021).

Ao direcionar esforços para a multiplicação e seleção em seus contextos específicos, os agricultores podem desenvolver variedades mais adaptadas e resilientes, alinhadas às condições dos seus agroecossistemas locais. Isso não apenas amplia a diversidade genética, mas também favorece a sustentabilidade agrícola em médio e longo prazo (Almeida; Costa, 2023).

Destaca-se ainda a importância da multiplicação e uso de variedades nativas em culturas específicas, como o tomate, onde essas práticas elevam a segurança alimentar e a viabilidade técnico-econômica, ressaltando a relevância da abordagem agroecológica para a criação de sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis (Moreira, 2003; Oliveira *et al.*, 2022).

5.4. Aplicação da Teoria da Trofobiose no manejo agroecológico

A Teoria da Trofobiose, proposta por Chaboussou (1999), sustenta que a sobrevivência e o desenvolvimento de organismos vivos — vegetais ou animais — estão diretamente ligados à satisfação de suas necessidades fisiológicas. Nesse sentido, o ataque de pragas e patógenos a uma planta, ou a partes específicas dela, ocorre apenas quando seu estado bioquímico, caracterizado pela natureza e concentração de nutrientes solúveis, se torna favorável ao parasita.

A partir dessa premissa, o uso de práticas agrícolas que favorecem o metabolismo equilibrado das plantas torna-se fundamental. A aplicação de matéria orgânica estável e de insumos com baixa solubilidade, como recomendado por Pinheiro e Chaboussou (1987) e Barreto (1996), reduz a concentração de açúcares e aminoácidos livres nos tecidos vegetais, elementos frequentemente associados à suscetibilidade a insetos e doenças. Essa estratégia nutricional cria um ambiente menos atrativo e propício ao desenvolvimento de organismos fitopatogênicos.

Além disso, estudos recentes reforçam a relevância da teoria da trofobiose como base para práticas de manejo ecológicos mais eficazes, destacando que a nutrição vegetal balanceada — especialmente por meio da adubação orgânica e da reciclagem de nutrientes — promove maior resistência fisiológica às plantas (Melo; Farias, 2020; Souza *et al.*, 2021).

A adoção de estratégias baseadas na trofobiose não apenas reduz o uso de insumos químicos, mas também fortalece a resiliência agroecológica do sistema produtivo, promovendo interações mais estáveis entre os componentes bióticos e abióticos dos agroecossistemas (Figura 10).



Figura 10. Teoria da trofobiose. Fonte: UNINOVA, 2023.

5.5. Manejo ecológico do solo como base para sistemas sustentáveis

O solo é um recurso vital para a vida na Terra, constituindo um sistema dinâmico onde interagem processos físicos, químicos e biológicos (Araújo; Monteiro, 2007). Na perspectiva da agricultura orgânica, o solo deve ser compreendido como um organismo vivo e complexo, cuja biodiversidade microbiana e macrofaunística é essencial para a resiliência e a produtividade do agroecossistema.

Diferentemente da visão convencional, que o reduz a um suporte inerte para o crescimento vegetal ou a uma simples fonte de nutrientes, a abordagem ecológica reconhece sua multifuncionalidade. O solo abriga microrganismos benéficos, promove o ciclo de nutrientes, regula a água e influencia diretamente a saúde das plantas e a estabilidade ecológica das áreas cultivadas.

Segundo Souza e Resende (2014), o manejo ecológico do solo inicia-se com a conservação da água e a eliminação de práticas degradantes, como as queimadas, progredindo para a construção de uma fertilidade duradoura, baseada em processos naturais de regeneração. A matéria orgânica, nesse contexto, atua como principal agente estruturador e bioestimulante da vida no solo.

A adoção de práticas como compostagem, adubação verde, cobertura vegetal permanente, plantio direto na palha e integração lavoura-pecuária-floresta contribui para aumentar a matéria orgânica, reduzir a compactação, favorecer a atividade biológica e melhorar a estrutura física do solo (Gomes *et al.*, 2019; Loss *et al.*, 2020). Essas práticas não apenas restauram a fertilidade natural, como também ampliam a capacidade de adaptação do sistema agrícola às mudanças climáticas e aos desafios ambientais contemporâneos.

O manejo ecológico do solo, portanto, é um dos pilares da agroecologia e da agricultura orgânica, sendo indispensável para garantir a saúde dos ecossistemas cultivados e a sustentabilidade de longo prazo da produção de alimentos.

5.6. Produção de biomassa no local e reciclagem eficiente da matéria orgânica

A reciclagem da matéria orgânica é um dos princípios fundamentais da agricultura orgânica e da agroecologia, promovendo melhorias substanciais nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A matéria orgânica atua como condicionador do solo, aumentando a capacidade de retenção de água, promovendo a formação de agregados, servindo de fonte de nutrientes e estimulando a atividade microbiológica (Peixoto, 1988).

A produção local de biomassa, aliada à reciclagem eficiente da matéria orgânica, permite a construção de sistemas agrícolas mais autônomos, com menor dependência de insumos externos (Figura 11). Práticas como o cultivo de adubos verdes, a rotação de culturas com leguminosas, a utilização de restos vegetais da propriedade e a compostagem contribuem diretamente para o enriquecimento do solo, a ciclagem de nutrientes e a melhoria da saúde das plantas (Altieri; Nicholls, 2020).



Figura 11. Produção de café orgânico: utilização de restos vegetais. Fonte: Sítio dos Tucanos, 2023.

A adoção de sistemas que mobilizam nutrientes das camadas mais profundas do perfil do solo e otimizam o processo fotossintético para a fixação de carbono e nitrogênio é vital para a sustentabilidade das propriedades

agrícolas agroecológicas. Além disso, esses sistemas aumentam o sequestro de carbono no solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Gomes *et al.*, 2022).

A compostagem, os biofertilizantes e os métodos de fermentação aeróbica e anaeróbica ampliam o aproveitamento dos resíduos orgânicos, transformando-os em insumos valiosos para o solo. A lógica da autossuficiência na produção de insumos orgânicos valoriza os recursos locais e fortalece a resiliência dos sistemas produtivos diante das flutuações do mercado de insumos convencionais.

6. Conversão de propriedades convencionais para sistemas orgânicos

A transição de uma propriedade convencional para um sistema de produção orgânica representa um processo complexo, que exige não apenas mudanças nos métodos agrícolas e na gestão da unidade produtiva, mas também uma reestruturação cultural, organizacional e humana. Essa conversão demanda planejamento criterioso, capacitação da equipe envolvida, adaptação de práticas de manejo e estratégias de comercialização, conforme enfatizam Gliessman (2000) e Khatounian (2001).

Esses autores propõem diretrizes que orientam o processo de conversão agroecológica, entre as quais se destacam:

- ✓ Reorganizar o manejo de nutrientes, priorizando sua ciclagem interna e a dependência de processos naturais, como a fixação biológica de nitrogênio e interações com micorrizas;
- ✓ Substituir fontes de energia não renováveis por alternativas renováveis e de menor impacto ambiental;
- ✓ Eliminar o uso de insumos sintéticos e não renováveis, frequentemente associados a riscos à saúde humana e ao meio ambiente;
- ✓ Optar por materiais naturais em detrimento de insumos de origem sintética;
- ✓ Enfatizar o manejo ecológico de pragas, doenças e plantas espontâneas, ao invés de estratégias meramente baseadas em controle químico;

- ✓ Promover a restauração das interações biológicas no agroecossistema, valorizando os serviços ecossistêmicos já presentes;
- ✓ Adequar o planejamento agrícola às restrições físicas e potencialidades ecológicas do território, buscando sinergia entre o uso da terra e os objetivos produtivos;
- ✓ Adaptar espécies vegetais e animais às condições locais, aproveitando sua variabilidade genética e capacidade de resiliência;
- ✓ Priorizar a conservação dos recursos naturais, com destaque para solo, água e biodiversidade;
- ✓ Incorporar a sustentabilidade de longo prazo como princípio estruturante do sistema produtivo.

Além desses aspectos técnicos e ecológicos, Pereira (2000) destaca a conversão do agricultor como elemento central no processo. Trata-se de uma transformação de valores, atitudes e percepções que deve acompanhar a mudança dos sistemas de produção. O sucesso da conversão não depende apenas da adoção de práticas agroecológicas, mas também da reconstrução do papel do ser humano na interface entre natureza e produção, enfatizando sua responsabilidade ética e ambiental (Altieri; Nicholls, 2020; Caporal; Costabeber, 2023).

A transição, portanto, envolve tempo, aprendizagem contínua e reestruturação progressiva dos saberes e das práticas. O tempo de conversão varia conforme a realidade local, os recursos disponíveis, o grau de dependência de insumos externos e o envolvimento dos atores sociais.

A prática da agroecologia é, acima de tudo, um processo de transformação que envolve mudanças graduais no estilo de vida dos agricultores, nos sistemas de manejo e na lógica de funcionamento das propriedades rurais. A conversão agroecológica, também chamada de fase de transição, constitui um período variável durante o qual a unidade produtiva abandona progressivamente o modelo convencional e passa a se estruturar como um agroecossistema (Peron *et al.*, 2024b).

A conversão deve ser compreendida como um processo participativo e contínuo, que se desenvolve ao longo do tempo até alcançar a conformação plena de um sistema agrícola fundamentado nos princípios agroecológicos. Esse

processo não se restringe a mudanças técnicas, mas requer a reestruturação da propriedade como um todo — incluindo dimensões ecológicas, sociais, culturais e econômicas (Altieri; Nicholls, 2020; Caporal; Costabeber, 2023).

Durante a transição, é fundamental respeitar a lógica da gradualidade: a conversão deve começar por áreas menores e mais aptas da propriedade, de modo a possibilitar experimentação, avaliação e aprendizagem contínua. Segundo Machado e Grisa (2022), os componentes educacional, biológico e normativo são três dimensões estruturantes desta etapa (BRASIL, 2022):

- ✓ A dimensão **educacional** está relacionada ao processo de formação, capacitação técnica e construção coletiva do conhecimento por meio da troca de experiências e do diálogo de saberes;
- ✓ A dimensão biológica refere-se à regeneração do solo, à reconversão da biodiversidade e à reestruturação dos fluxos ecológicos internos ao sistema;
- ✓ A dimensão normativa compreende a observância das normas legais e técnicas exigidas para a certificação da produção orgânica, conforme as diretrizes estabelecidas pela legislação brasileira.

O projeto de conversão deve ser estruturado de forma lógica e explícita, a partir de um diagnóstico integrado da propriedade, que aborde seus recursos naturais, vínculos sociais e econômicos, forma de uso da terra, histórico de manejo e desempenho físico-financeiro. É nessa etapa que se identificam o potencial e as limitações da unidade produtiva, além das necessidades formativas dos agricultores (Figura 12).

Esse planejamento deve prever metas claras, cronogramas, fluxogramas de ação e indicadores de avaliação, articulando os objetivos agroecológicos com os meios disponíveis. Como destaca Pillar *et al.* (2021), a construção participativa desses instrumentos fortalece o protagonismo dos agricultores e promove maior apropriação dos processos de mudança.

A comercialização é outro pilar indispensável. Nenhum projeto de conversão pode ser considerado completo sem a definição de canais de mercado diferenciados, que valorizem a produção agroecológica e possibilitem remuneração justa. A certificação orgânica, seja por auditoria ou por sistema participativo de garantia, é uma estratégia essencial para assegurar o acesso a

nichos de mercado específicos e conferir confiabilidade ao consumidor (Willer *et al.*, 2023).



Figura 12. Transição agroecológica de café convencional para orgânico. Fonte: Sítio Recanto da Serra, 2023.

Somente após o cumprimento das exigências técnicas, legais e temporais determinadas pelas normativas brasileiras (como a Instrução Normativa nº 46/2011 e a Portaria MAPA nº 52/2021), a propriedade ou área pode receber o selo de produção orgânica, atestando sua conformidade com os princípios estabelecidos.

É fundamental analisar as vantagens e desvantagens da produção de café orgânico, bem como compreender os desafios relacionados à certificação, ao mercado e à sustentabilidade. O estudo de caso da produção e comercialização no Sítio Recanto da Serra, localizado em Espera Feliz–MG, evidencia que a produção de café orgânico apresenta diversas vantagens, como benefícios ambientais, ganhos à saúde e impactos sociais positivos. A pesquisa feita por Peron (2024) teve como objetivo analisar o processo de transição da produção de café arábica do sistema convencional para o sistema de manejo orgânico no Sítio Recanto da Serra, permitindo afirmar que essa transição foi bem-sucedida, tanto do ponto de vista produtivo quanto em termos de sustentabilidade econômica e socioambiental.

7. Legislação, certificação e comércio na agricultura orgânica

Na agricultura orgânica, o processo produtivo segue uma base normativa rigorosa, que vai além da simples ausência de insumos químicos, abrangendo aspectos relacionados à qualidade do produto, responsabilidade socioambiental, relações de trabalho e respeito à biodiversidade. O enfoque legal busca garantir que a produção esteja em conformidade com princípios éticos, ecológicos e sustentáveis, assegurando transparência e confiança aos consumidores (Sousa *et al.*, 2023; BRASIL, 2022).

No Brasil, a regulamentação da produção orgânica ganhou corpo legal com a promulgação da Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica. Essa legislação foi normatizada pelo Decreto nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007, o qual definiu diretrizes para a produção, fiscalização, certificação e comercialização dos produtos orgânicos no território nacional. O referido decreto entrou em vigor com maior efetividade a partir de janeiro de 2011, após um período de transição de três anos para consolidação das estruturas institucionais e operacionais do setor (BRASIL, 2007).

A implantação da legislação é coordenada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), com apoio das Comissões Estaduais de Produção Orgânica (CPORGs), que atuam de forma descentralizada nos estados, promovendo ações de formação, fiscalização e acompanhamento técnico.

O Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade Orgânica (SISORG) é o principal instrumento legal para assegurar que os produtos estejam em conformidade com as normas vigentes. Esse sistema reconhece três formas principais de controle (BRASIL, 2021):

- ✓ Certificação por auditoria: realizada por organismos certificadores credenciados pelo MAPA, geralmente aplicada a produtores de maior escala ou voltados à exportação;
- ✓ Sistema Participativo de Garantia (SPG): baseado na participação ativa de agricultores, técnicos e consumidores, com controle social horizontal, por meio de Organizações Participativas de Avaliação da Conformidade (OPACs);

✓ Controle social para venda direta sem certificação formal: voltado para agricultores familiares vinculados a uma Organização de Controle Social (OCS), autorizada pelo MAPA. Neste caso, os produtos podem ser vendidos diretamente ao consumidor, mas não podem ostentar o selo orgânico oficial.

Todos os produtos certificados, seja por auditoria ou por sistema participativo, devem portar a logomarca oficial do SISORG, que garante ao consumidor a rastreabilidade e a conformidade com os padrões da legislação brasileira. A obrigatoriedade do uso do selo passou a vigorar a partir de 1º de janeiro de 2011, conforme estabelecido na Instrução Normativa MAPA nº 19/2009, posteriormente atualizada por normas complementares (BRASIL, 2021).

Quanto à comercialização, os produtos orgânicos podem ser adquiridos por diversos canais, tais como:

- ✓ Feiras livres orgânicas e mercados agroecológicos;
- ✓ Entrega em domicílio por cestas semanais (sistemas de venda por assinatura);
- ✓ Revendas em empórios especializados e lojas naturais;
- ✓ Supermercados convencionais, mediante acondicionamento e rotulagem adequados para evitar contaminação cruzada.

De acordo com Vilela *et al.* (2021), a venda direta em feiras e circuitos curtos de comercialização fortalece os vínculos entre produtor e consumidor, estimula a economia local e valoriza a confiança mútua como base da transação (Figura 13). Já a presença de produtos orgânicos em redes varejistas amplia o alcance da produção e estimula o crescimento do mercado consumidor, mas exige atenção redobrada quanto à logística, rastreabilidade e conformidade sanitária.

A legislação brasileira também reconhece a função educativa do comércio de produtos orgânicos, pois ele promove a conscientização do consumidor sobre os impactos ambientais e sociais de suas escolhas alimentares, fortalecendo o consumo responsável e sustentável.



Figura 13. Feira livre de produtos orgânicos e agroecológicos em Rio Pomba, MG. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2015.

8. Diferenças entre agroecologia, agricultura orgânica e transição agroecológica

A agroecologia, a agricultura orgânica e a transição agroecológica constituem abordagens convergentes no campo da agricultura sustentável, embora apresentem distinções conceituais, metodológicas e políticas importantes. Todas compartilham o objetivo de promover formas de produção que respeitem os ciclos ecológicos, reduzam os impactos ambientais e valorizem o conhecimento dos agricultores. No entanto, diferem quanto ao grau de transformação dos sistemas produtivos, à ênfase em processos sociais e políticos e à institucionalização normativa (Caporal; Costabeber, 2004; Altieri, 2012; Gleiser *et al.*, 2020).

✓ Agroecologia

A agroecologia é uma ciência, uma prática agrícola e um movimento sociopolítico. Como ciência, baseia-se na aplicação de princípios ecológicos ao desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis. Como prática, promove a diversidade biológica, a ciclagem de nutrientes, o uso de insumos locais e o

fortalecimento da resiliência dos sistemas produtivos. Como movimento, articula agricultores, pesquisadores e organizações sociais em torno da soberania alimentar, justiça social e valorização dos saberes tradicionais (Wezel *et al.*, 2009; Altieri, 2012).

Essa abordagem é sistêmica e busca integrar os elementos ecológicos, culturais, econômicos e políticos nos territórios rurais. Vai além da técnica de cultivo e propõe transformações estruturais na forma de produzir, consumir e organizar os sistemas agroalimentares (Caporal; Costabeber, 2004).

✓ **Agricultura orgânica**

A agricultura orgânica é um sistema de produção normatizado que visa manter a saúde dos solos, dos ecossistemas e das pessoas. Caracteriza-se pela exclusão de fertilizantes sintéticos, pesticidas químicos, organismos geneticamente modificados e aditivos industriais, promovendo práticas como a compostagem, a adubação verde, a rotação de culturas e o controle biológico de pragas (IFOAM, 2022).

Diferentemente da agroecologia, a agricultura orgânica é amplamente regulada por legislações e certificações oficiais, como as normas do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade Orgânica (SISORG) ou os padrões da IFOAM – International Federation of Organic Agriculture Movements. Isso permite sua inserção no mercado como nicho comercial, inclusive em larga escala, mas pode resultar na despolitização ou padronização de práticas que originalmente eram mais diversas e comunitárias (Lefebvre *et al.*, 2020).

✓ **Transição agroecológica**

A transição agroecológica é o processo progressivo de conversão de modelos convencionais para sistemas agroecológicos, marcado por etapas intermediárias que incluem, mas não se limitam, à adoção de práticas orgânicas. Esse processo envolve mudanças técnicas, sociais, culturais e econômicas, visando à reconfiguração dos sistemas produtivos de modo que se tornem mais sustentáveis, autônomos e integrados ao ecossistema local (Petersen, 2011).

Durante a transição, os agricultores podem adotar práticas como a redução gradual de insumos químicos, o fortalecimento da biodiversidade funcional, o manejo ecológico do solo e o resgate de sementes crioulas. A transição não ocorre de forma linear, podendo apresentar avanços e retrocessos e exigindo apoio técnico, políticas públicas adequadas e processos educativos permanentes (Gliessman, 2015).

Embora compartilhem princípios como a sustentabilidade, o respeito à natureza e a valorização da agricultura familiar, as três abordagens devem ser compreendidas em sua especificidade. A agricultura orgânica, quando desvinculada do contexto agroecológico, pode tornar-se apenas uma alternativa de mercado. Já a agroecologia representa uma proposta transformadora, que visa reconstruir a base ecológica, social e cultural da agricultura. A transição agroecológica, por sua vez, é o caminho necessário para transpor as barreiras impostas pelo modelo convencional, exigindo tempo, apoio técnico e políticas públicas consistentes.

Tabela Comparativa

Critério	Agroecologia	Agricultura Orgânica	Transição Agroecológica
Enfoque principal	Sistêmico e ecológico-político	Técnicas naturais com regulação e certificação	Processo gradual de conversão
Base normativa	Princípios ecológicos e sociais	Legislação nacional e internacional (ex.: SISORG)	Não regulada, mas orientada por princípios
Ênfase	Diversidade, equidade, soberania alimentar	Qualidade do produto, saúde e meio ambiente	Redução da dependência de insumos externos
Escala	Predominantemente local e territorial	Pode ser local ou comercial de larga	Variável conforme contexto

Critério	Agroecologia	Agricultura Orgânica	Transição Agroecológica
		escala	
Certificação	Pode ou não ser certificada; foco no controle social	Certificação obrigatória para uso de selo orgânico	Não requer certificação
Papel dos agricultores	Protagonistas do conhecimento e da inovação	Cumpridores de normas estabelecidas por terceiros	Agentes em formação e experimentação

9. Considerações

A utilização de agrotóxicos é incentivada por grandes corporações multinacionais que, movidas por uma lógica antropocêntrica e capitalista, buscam a maximização de lucros, mesmo que isso ocorra em detrimento do equilíbrio ambiental. Essa lógica moldou historicamente as práticas agrícolas predominantes no Brasil e direcionou grande parte da pesquisa científica para os moldes da agricultura convencional. A chamada Revolução Verde consolidou esse paradigma, promovendo o uso massivo de insumos químicos e mecanização intensiva.

Contudo, a aplicação intensiva de agrotóxicos tem se mostrado insustentável: quanto mais se utilizam esses produtos, maior é o desequilíbrio ecológico gerado. Pragas desenvolvem resistência aos princípios ativos, o que leva à necessidade de doses maiores ou à substituição por substâncias ainda mais agressivas. Além disso, como os agrotóxicos não são seletivos, eliminam também organismos benéficos ao controle biológico natural, além de comprometerem a microbiota do solo, comprometendo sua fertilidade e resiliência.

Em contraposição, a agricultura orgânica tem se expandido rapidamente

em razão da crescente demanda por alimentos mais saudáveis e produzidos de forma ambientalmente responsável. Essa prática vai além da simples substituição de insumos químicos, propondo um redesenho do sistema produtivo baseado na saúde do solo, na biodiversidade e no respeito aos ciclos naturais. A certificação orgânica garante a integridade desses produtos e incorpora aspectos sociais e ambientais, promovendo não apenas segurança alimentar, mas também qualidade de vida e justiça socioambiental.

Já a transição para a agroecologia configura-se como um processo contínuo e gradual, que exige uma leitura crítica e contextualizada do território. Essa abordagem se baseia nos princípios ecológicos, socioculturais e econômicos, promovendo a autonomia dos agricultores, a redução da dependência de insumos externos e a valorização dos saberes tradicionais. A agroecologia não se limita à substituição de insumos, mas propõe uma transformação estrutural e cultural nos modos de produzir, viver e se relacionar com a natureza. A experiência cubana, especialmente no período pós-bloqueio econômico, evidencia que a agroecologia é técnica e economicamente viável, fortalecendo a soberania alimentar e os princípios do desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, a agroecologia vai além de um modelo de produção: constitui-se como uma ciência integradora, um movimento social e uma proposta política. Ao romper com a visão fragmentada e utilitarista da natureza, ela coloca a relação entre seres humanos e o meio ambiente em um patamar de coevolução e reciprocidade, essencial para a construção de sociedades verdadeiramente sustentáveis.

10. Referências

ALMEIDA, D. L. *et al.* **Agricultura orgânica: fundamentos e perspectivas.** Brasília, DF: Embrapa-SPI, 2000.

ALMEIDA, D. L. *et al.* **Agricultura Orgânica: Instrumento para a sustentabilidade dos sistemas de produção e valorização dos produtos agrícolas.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 2000. 22 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 122).

ALMEIDA, L. F.; COSTA, J. P. da. Variedades locais e sustentabilidade agrícola: um enfoque agroecológico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 55-70, 2023.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: fundamentos científicos da agricultura alternativa. 5. ed. Porto Alegre: Expressão Popular, 2012.

ALTIERI, M. A. **Agroecology**: the science of sustainable agriculture. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecologia**: fundamentos e aplicações. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2020.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecologia**: princípios e estratégias para a agricultura sustentável. 5. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2017.

ALTIERI, M. A.; SILVA, J. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 2. ed. São Paulo: Editora Nacional, 2003. 226 p.

ALTIERI, M. A.; TOLEDO, V. M. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 31, n. 3, p. 377-386, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0034-4>.

ALTIERI, M. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. Rio de Janeiro: Expressão Popular, 2012.

AMADOR, M. B. M. **Sistemismo e sustentabilidade**: uma questão interdisciplinar. São Paulo: Scortecci, 2011.

APT. **O Biofertilizante Supermagro**. Série Adubação Orgânica, nº 2, 1997. 15p.

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, 2007.

ARAÚJO, Q. R. de; MONTEIRO, R. C. Solo como recurso natural: funções e degradação. **Revista GEOUSP – Espaço e Tempo**, n. 21, p. 83-97, 2007.

BARRETO, M. C. Nutrição vegetal e sanidade. In: KRASOVA-WADE, T. et al. (Org.). **Agricultura alternativa**: bases ecológicas para uma nova proposta agrícola. Brasília: Embrapa-FAO, 1996. p. 79-90.

BECKER, C.; SILVA, S. R. Revisitando os conceitos de transição agroecológica e sistemas agroalimentares sustentáveis. **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável**, v. 5, p. 274-285, 2021.

BECKER, D. M.; SILVA, J. F. **Agroecologia**: fundamentos e práticas sustentáveis. São Paulo: Editora Expressão Popular, 2021.

BRANDEMBURG, A. Do rural tradicional ao rural socioambiental. In: **Ambiente e Sociedade**. Campinas, v. XIII, n. 2, p. 417-428, 2010.

BRANDEMBURG, A. O Rural Brasileiro: permanências e mudanças. In: GUIMARÃES, A. S. (Org.). **Ruralidades no Brasil contemporâneo**. 2. ed. São Paulo: Editora Contexto, 2010. p. 31-49.

BRANDENBURG, A. A. Construção social da agroecologia: estudo de experiências de transição agroecológica em Santa Catarina. **Revista Nera**, v. 13, n. 15, p. 1-21, 2010.

BRASIL. **Decreto nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007**. Regulamenta a Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 dez. 2007.

BRASIL. **Decreto nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007**. Regulamenta a Lei nº 10.831, de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 dez. 2007.

BRASIL. **Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003**. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 24 dez. 2003.

BRASIL. **Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003**. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 24 dez. 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria MAPA nº 52, de 15 de março de 2021**. Estabelece normas para o processo de certificação da produção orgânica no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 52, de 15 de março de 2021**. Define normas para o uso do selo SISORG. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BRUSSAARD, L. *et al.* Soil biodiversity for agricultural sustainability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 277, p. 112-123, 2019. DOI: 10.1016/j.agee.2019.04.015.

BURG, I. C.; MAYER, P. **Manual de alternativas ecológicas para prevenção e controle de pragas e doenças**. 7. ed. Francisco Beltrão: GRAFIT, 1999. 153p.

CAMARGO, P. **Fundamentos da transição agroecológica**: racionalidade ecológica e campesinato. Agrário. São Paulo, nº 7, pp. 156-181, 2007.

CAMARGO, P. S. Jr. Agroecologia como política pública: reflexões sobre suas possibilidades e limites. In: **Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas**. Vitória da Conquista: UESB, n. 6, p. 167-179, 2007.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: Perspectivas para uma nova extensão rural. In: ETGES, V. E. (Org.). **Desenvolvimento rural: Potencialidades em questão**. Rio Grande do Sul: EDUNISC, 2001, pp. 19-51.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia**: enfoques teóricos e estratégicos. Brasília: MDA/GTZ, 2001.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia: princípios e reflexões conceituais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 201-222, 2004.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. R. Agroecologia: princípios e estratégias para o desenvolvimento rural sustentável. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 102-121, 2023.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Gaia, 1964.

CHABOUSSOU, F. **A trofobiose**: bases científicas da agricultura biológica. São Paulo: Nobel, 1999.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos (A Teoria da Trofobiose)**. 2ª. ed., Porto Alegre: L&PM, 1999. 272 p.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose**. Porto Alegre: L&M, 1987. 256 p.

COSTA, J. P. da; ALMEIDA, L. F.; PEREIRA, R. S. Manejo agroecológico e biodiversidade do solo: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 3, p. 112-127, 2022.

COSTABEBER, J. A. Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura sustentável. In: NODARI, R. O.; GUIMARÃES, M. A. (Org.) **Educação em agroecologia**: princípios e práticas para o desenvolvimento rural sustentável. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), 2006. p. 15-33.

COSTABEBER, J. A. Transição Agroecológica: rumo à sustentabilidade. **Agricultura: Experiência em Agroecologia**. Rio de Janeiro, v. 3, n. 3, p. 4-5, 2006.

DEBARBA, J. F. Rotação e consorciação de culturas. In: **Curso de Agroecologia**. Itajaí: EPAGRI, 2000 (Apostila - mimeografada).

DINIZ, J. A. F. **A condição camponesa de Sergipe**. Aracaju: NPGeo/UFS, 169 p. 1996.

DINIZ, J. A. F.; DINIZ, D. F. L. Evolução da distribuição fundiária em Sergipe (1920-1960): Uma análise quantitativa. VIII Simpósio Nacional de Professores de História. **Anais...** São Paulo, 1976.

DINIZ, J.; DINIZ, C. **A estrutura agrária do Brasil**: diagnóstico e perspectivas. Recife: Editora Universitária, 1976.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The 10 Elements of Agroecology**. Rome: FAO, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements>. Acesso em: 10 jun. 2025.

FERGUSON, B. G.; MENDOZA, A.; CHAPMAN, M. Agroecological transitions: changes in human–ecological relationships in tropical agroforests. **Journal of Ethnobiology**, v. 39, n. 4, p. 517–536, 2019. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-39.4.517>

FERREIRA, A. C.; SANTOS, M. T. Impactos do uso intensivo de agrotóxicos na biodiversidade do solo. **Ciência Rural**, v. 48, n. 6, 2018.

FERREIRA, J. S.; GRISA, C. As redes territoriais e a transição agroecológica: interações, políticas e práticas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 16-29, 2020.

FERREIRA, J. S.; GRISA, C. As redes territoriais e a transição agroecológica: interações, políticas e práticas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 16-29, 2020.

FICKERT, U. Crescimento do mercado de orgânicos no Brasil. In: KÜSTER, A.; MARTÍ, JF (Org.). **Agricultura Familiar, Agroecologia e Mercado no Norte e Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, DED, p.23-50. 2004.

FREITAS, G. B. *et al.* **Produção de frutas orgânicas**. Brasília: SENAR, 2006. 83 p. (ISBN 85-7664-014-7)

GLEISER, M. *et al.* Agricultura orgânica, agroecologia e transição: diálogos e interfaces. **Revista Extensão Rural**, Santa Maria, n. 27, p. 59-76, 2020.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos na agricultura sustentável. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 653p.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology**: the ecology of sustainable food systems. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2021.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology**: the ecology of sustainable food systems. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

GOMES, J. B. V. *et al.* Efeitos da cobertura vegetal e adubação verde na qualidade do solo em sistema agroecológico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, n. 3, p. 198-210, 2019.

GOMES, J. B. V. *et al.* Produção de biomassa e ciclagem de nutrientes com adubos verdes em sistemas agroecológicos. **Revista Agroecossistemas**, v. 14, n. 2, p. 45-58, 2022.

IBD - Instituto Biodinâmico de Desenvolvimento Rural. **Diretrizes para padrões de qualidade biodinâmica, Demeter e orgânica “Instituto Biodinâmico”**. 7. ed. Botucatu: IBD, 49 p. 1997.

IFOAM – ORGANICS INTERNATIONAL. **The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2023**. Bonn: FiBL & IFOAM, 2023. Disponível em: <https://www.ifoam.bio/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

IFOAM. **Principles of Organic Agriculture. International Federation of Organic Agriculture Movements**. 2022. Disponível em: <https://www.ifoam.bio/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica. 2001. 348 p.

KHATOUNIAN, C. A. Conversão de sistemas de produção convencionais para orgânicos: aspectos conceituais e metodológicos. In: PHILIPPI JUNIOR, A. (org.). **Agricultura orgânica: bases para uma nova proposta de desenvolvimento rural sustentável**. São Paulo: SENAC, 2001.

KHATOUNIAN, C. A. Conversão de sistemas de produção convencionais para orgânicos: aspectos conceituais e metodológicos. In: PHILIPPI JUNIOR, A. (Org.). **Agricultura orgânica: bases para uma nova proposta de desenvolvimento rural sustentável**. São Paulo: SENAC, 2001.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. Piracicaba: EJ Kiehl, 1998. 171 p.

LEFEBVRE, G. *et al.* Organic agriculture and agroecology in Europe: co-evolution or divergence? **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1239-1255, 2020.

LOSS, A. *et al.* Manejo sustentável do solo em sistemas orgânicos: contribuições da matéria orgânica e da biodiversidade. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, p. 112-123, 2020.

MACHADO, R. A.; GRISA, C. Transições agroecológicas: processos, tempos e múltiplas dimensões. **Revista Campo-Território**, v. 17, n. 1, p. 15-36, 2022.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos**. Brasília: MAPA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos>. Acesso em: 5 jun. 2025.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Selos orgânicos**, 2016, Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/imagens-organicos-1/Seloorganicos.jpg/view> Acesso em: 20 abr. 2025.

MAZZOLENI, E. M.; NOGUEIRA, J. M. **Agricultura Orgânica: Características básicas do seu produtor**. RER, Rio de Janeiro, v. 44, n. 2, p. 263-293, 2006. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/resr/v44n2/a06v44n2.pdf>> Acesso em: 22 fev. 2023.

MAZZOLENI, M.; NOGUEIRA, M. C. J. A agricultura orgânica e os entraves à expansão de seus mercados. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 437-457, 2006.

MAZZOLENI, R. S.; NOGUEIRA, S. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável. In: OLIVEIRA, M. A. M.; MARQUES, J. G. (Org.). **Educação ambiental e agroecologia**. São Paulo: Cortez, 2006. p. 93–114.

MELO, C. M.; FARIAS, P. R. Nutrição vegetal, resistência e trofobiose: uma abordagem integrada para sistemas agroecológicos. **Revista de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 3, p. 41-56, 2020.

MOONEY, H. A. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. In: LIKENS, R. E. (Ed.). **Ecosystem disturbance and recovery**. New York: Academic Press, 1987. p. 295-311.

MOONEY, P. R. **O escândalo das sementes**: domínio na produção de alimentos. São Paulo: Nobel, 1987. 146 p.

MOREIRA, F. **Agroecologia e participação social na transição agroecológica**. São Paulo: Editora Unesp, 2003.

MOREIRA, R. J. **Construção da agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**. Brasília: NEAD, 2003.

MOREIRA, R. M. **Transição Agroecológica**: Conceitos, bases sociais e localização de Botucatu/SP - Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) Campinas/SP: UNICAMP, 2003.

MOURA, M. R. de; CAMPANHOLA, C. Produção orgânica e agroecologia no Brasil: avanços e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 173–193, 2021.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A. Agroecological approaches to enhance biodiversity and ecosystem services for sustainable agriculture. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 42, n. 1, p. 17-36, 2018.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A.; VAZQUEZ, L. Agroecología y resiliencia socioecológica: contribuciones para una transición hacia sistemas alimentarios sostenibles. **Agroecología**, n. 14, p. 7-20, 2020.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A.; VAZQUEZ, L. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrícolas sostenibles. **Multiciencias**, v. 16, n. 1, p. 14-24, 2016.

OLIVEIRA, R. S.; SILVA, C. F.; LIMA, J. R. Conservação genética e manejo sustentável em sistemas orgânicos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 78-90, 2022.

ORGÂNICOS BRASIL. **Atual mercado de alimentos orgânicos**. São Paulo, 2011. Disponível em: <www.organicosbrasil.org> Acesso em 22.02.2023.

PASCHOAL, A. D. **Pragas, pesticidas e a crise ambiental**. São Paulo: Nobel, 1979.

PAULUS, G. **Do modelo moderno à agricultura alternativa**: Possibilidades de

transição. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) Florianópolis/SC: UFSC, 1999.

PEIXOTO, C. P. **Matéria orgânica e sua importância na fertilidade dos solos**. Boletim Técnico da EMBRAPA, n. 58, p. 1-22, 1988.

PEIXOTO, R. T. dos G. **Compostagem**: uma opção para o manejo orgânico do solo. Londrina: IAPAR, 1988, 48p. (IAPAR - Circular, 57).

PEREIRA, J. R. Conversão agroecológica e a construção de novas identidades. In: PHILIPPI JUNIOR, A. (Org.). **Agricultura orgânica**: bases para uma nova proposta de desenvolvimento rural sustentável. São Paulo: SENAC, 2000.

PERON, I. B. **Estudo de caso da transição da cafeicultura convencional para a orgânica**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia). Programa de Pós-graduação em Agroecologia. Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. 2024. 81 p.

PERON, I. B.; NOVELLO, J. S.; MASSARIOL, B. P.; PINTO, G. P.; NASCIMENTO, L. M.; RANGEL, G. S.; CARVALHO, R. C. B.; EGIDIO, L. S.; VIEIRA, R. C.; COSTA, W. M.; FIGUEIREDO, J. S. M.; SOUZA, M. N. In: SOUZA, M. N. (Org.) Diferenças entre agroecologia, agricultura orgânica e transição agroecológica. In: **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. III. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 44-82. ISBN: 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5.c1>

PERON, I. B.; SOUZA, M. N.; LOUBACK, G. C.; PINHEIRO, A. C. M.; XAVIER, S. A. B.; EGIDIO, L. S. A importância da matéria orgânica e o equilíbrio nutricional na cafeicultura do modelo de produção agroecológica. p. 71-72. In: VIEIRA, L. H. S.; VARNIER, E. et al. (Org.) **Coletânea Multicampi de trabalhos em Pesquisa, Extensão e Ensino**: IFES Alegre, Itapina e Santa Teresa / Larissa Haddad Souza Vieira, Eduardo Varnier *et al.* (organizadores) – Curitiba: CRV, 2024b. 326 p. (Coleção Produção Acadêmica – Ifes em Rede – v. 2). ISBN Volume Digital 978-65-251-5792-4. DOI 10.24824/978652515795.5.

PETERSEN, P. *et al.* **Transição agroecológica**: construindo uma nova base produtiva e social para a agricultura familiar. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2013.

PETERSEN, P. Transição agroecológica: o desafio da mudança de paradigma. In: ABREU, L. S.; ALMEIDA, S. A.; PINHEIRO, M. F. M. (Org.). **Construção do conhecimento agroecológico**: desafios e experiências. Brasília: Embrapa, 2011. p. 13-36.

PILLAR, V. D. *et al.* Planejamento participativo para transição agroecológica: metodologias e experiências. **Agroecologia Hoje**, v. 4, p. 43-59, 2021.

PIMENTEL, D. *et al.* Organic agriculture and sustainability: evidence from a global meta-analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 209, p. 15-23, 2017.

PINHEIRO, C.; CHABOUSSOU, F. Teoria da trofobiose: implicações no manejo de pragas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 12-18, 1987.

PINHEIROS, B. S. B. '**MB4**': Agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes. Canoas: La Salle, 1996. 273 p.

RAMOS, M. A.; PEREIRA, L. S. Seleção participativa e adaptação local em cultivos orgânicos. **Agricultura & Ambiente**, v. 11, n. 3, p. 144-159, 2019.

ROSA, J.; PLOEG, J. D. van der. Agroecologia em Cuba e o redesenho de sistemas alimentares sustentáveis. **Revista NERA**, Presidente Prudente, v. 24, n. 55, p. 9-29, 2021.

SILVA, C. M. da. **Agricultura alternativa e sustentabilidade**: o caso do assentamento new lives em Ocara, Ceará. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Ambiental). Fortaleza: UFC, 2004.

SILVA, E. N. **Agricultura alternativa**: fundamentos e práticas sustentáveis. Campinas: Unicamp, 2004.

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N. **Produção de café orgânico**: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural. 1. ed. Mauritius: Novas Edições Acadêmicas, 2021.

SILVA, R. M. da; SOUZA, C. F.; LIMA, J. R. Dinâmicas biológicas no solo: um olhar agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 44-59, 2021.

SILVA, T. P. da *et al.* Políticas públicas e agrotóxicos no Brasil: a contramão da sustentabilidade. **Revista NERA**, Presidente Prudente, v. 24, n. 54, p. 1-22, 2021.

SOUSA, A. Araújo de *et al.* Alimentos orgânicos e saúde humana: estudo sobre as controvérsias. **Revista Panamericana de Salud Publica**, v. 31, p. 513-517, 2012.

SOUSA, D. B. de; SANTOS, J. P. dos; PEREIRA, A. M. Certificação e comercialização de produtos orgânicos no Brasil: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 2, p. 89-104, 2023.

SOUZA, A. L.; RESENDE, A. V. Manejo sustentável do solo: princípios e práticas. In: ASSIS, R. L.; FONTES, L. R. (Org.). **Agroecologia**: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Viçosa: UFV, 2014. p. 93-114.

SOUZA, E. L. de S.; SOUZA, M. N.; PELUZIO, T. M. O.; OLIVEIRA, A. de F. M. de; CARVALHO, R. C. B.; SILVA, E. P. da; LIMA, O. de A.; NOVAES, C. A. de; NOVAES, G. A. de. Desafios e perspectivas da agroecologia para alcançar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas. Vol. IX**. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. p. 45-69. **ISBN**: 978-65-84548-33-6. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c1>

SOUZA, E. L. de S.; SOUZA, M. N.; PELUZIO, T. M. O.; OLIVEIRA, A. de F. M. de; CARVALHO, R. C. B.; SILVA, E. P. da; LIMA, O. de A.; NOVAES, C. A. de; NOVAES, G. A. de. Desafios e perspectivas da agroecologia para alcançar a

realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas. Vol. IX.** – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. p. 45-69. **ISBN:** 978-65-84548-33-6. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c1>

SOUZA, H. A. de; SOUZA, J. M.; MELLO, S. C. R. **Agricultura orgânica: princípios e práticas.** Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ, 2012.

SOUZA, J. L. de; RESENDE, P. **Manual de Horticultura Orgânica.** 3ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2014. 841 p.: il.

SOUZA, L. F. *et al.* Nutrição equilibrada e sanidade vegetal: reflexões à luz da agroecologia. **Cadernos de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 112-124, 2021.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental.** Vol. III. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. 311 p. **ISBN:** 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5>

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. IX. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. 322 p. **ISBN:** 978-65-84548-33-6. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6>.

VAIRO dos SANTOS, A. C. **Biofertilizante líquido:** defensivo agrícola da natureza. Niterói: EMATER-RIO, 1992. 16p. (Agropecuária Fluminense, 8).

VALARINE, P. J. C. Diagnóstico da Agricultura Orgânica no Brasil. In: VALERO, M. S. G. (Org.). **Recomendações e estratégias para desenvolver a agricultura ecológica na Iberoamérica.** CooperacionIberoamericana, s/d. Disponível em: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/glibrorecom edaci onesaecyted.pdf#page=101 Acesso em: 22 fev. 2023.

VALARINI, P. J. *et al.* **Diagnóstico da agricultura orgânica no Brasil.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005.

VILELA, M.; SCHNEIDER, S.; CARRARA, A. Agroecologia, mercados e políticas públicas: trajetórias da agricultura orgânica no Brasil. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 29, n. 1, p. 232-254, 2021.

WEZEL, A. *et al.* Agroecology as a science, a movement and a practice. **Sustainable Agriculture**, v. 29, p. 503–515, 2009.

WILLER, H. *et al.* **The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2023.** Bonn: FiBL & IFOAM – Organics International, 2023.

WRIGHT, J. A transição agroecológica na agricultura cubana. **Agricultura: Experiência em Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 3, p. 6-11, 2006.

Adubação verde: práticas tradicionais e inovações para uma agricultura de baixo impacto

Fernanda Barcelos de Paula, Iarley Ribeiro Miranda, Regiane Carla Bolzan Carvalho, Laís Viana Bruneli, Wanderson Facco Colodetti, Willian Moreira da Costa, Larissa Viana Bruneli, Alex Justino Zacarias, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c3>

Resumo

A adubação verde é uma prática agroecológica que utiliza plantas cultivadas para proteger, recuperar e melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Este trabalho analisa os benefícios, limitações e aplicações dessa técnica na cafeicultura, com ênfase na relação carbono/nitrogênio (C/N) e nas principais espécies utilizadas. A prática favorece o aumento da matéria orgânica, a fixação biológica de nitrogênio, o controle de plantas espontâneas, a supressão de pragas como nematoides e a melhoria da fertilidade e da estrutura do solo. Dentre as espécies mais empregadas, destacam-se leguminosas como *Cajanus cajan*, *Mucuna pruriens* e *Canavalia ensiformis*, e gramíneas como *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria ruziziensis*, reconhecidas pela elevada produção de biomassa. Na cafeicultura, o consórcio entre cafeeiros e plantas de cobertura tem promovido ganhos em produtividade e sustentabilidade. A revisão bibliográfica, fundamentada no método dedutivo, indica que a adoção estratégica da adubação verde contribui para a redução da dependência de insumos químicos e para o aumento da rentabilidade da produção agrícola.

Palavras-chave: Cafeicultura. Plantas de cobertura. Sustentabilidade agrícola. Matéria orgânica. Fixação biológica de nitrogênio. Relação C/N. Agroecologia. Conservação do solo.

1. Introdução

A história da agricultura está intrinsecamente ligada ao uso de materiais orgânicos, como esterco, restos de culturas e compostos vegetais, para melhorar a qualidade do solo e aumentar a produtividade agrícola. Essas técnicas sustentáveis contribuíram por séculos para a preservação das características do solo e seguem sendo uma alternativa relevante frente à intensificação agrícola moderna (Espíndola; Guerra; Almeida, 1997).

Com a Revolução Verde, no entanto, práticas como a adubação verde foram amplamente substituídas por fertilizantes químicos solúveis. Apesar de terem promovido aumentos expressivos na produtividade e na oferta de alimentos, o uso indiscriminado desses insumos resultou em sérios impactos ambientais, como a degradação dos solos, a contaminação de recursos hídricos e a crescente dependência de produtos industriais (Abranches *et al.*, 2021).

Além disso, o manejo intensivo do solo e o uso excessivo de fertilizantes químicos têm agravado problemas como compactação, baixa capacidade de retenção de água e perdas de fertilidade, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas produtivos em longo prazo (Borges *et al.*, 2018). Nesse cenário, a adubação verde ressurge como uma estratégia eficiente e ecologicamente viável, promovendo a conservação do solo, a fixação biológica de nitrogênio e a redução da dependência de insumos externos.

Na cafeicultura — cultura de grande importância socioeconômica no Brasil — a elevada exigência nutricional representa um desafio constante. Estimativas indicam a necessidade de até 470 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 400 kg ha⁻¹ de potássio (K₂O) e 80 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅) (Matiello *et al.*, 2005). Além de encarecer a produção, essa dependência agrava a vulnerabilidade do setor, especialmente diante da instabilidade dos mercados internacionais de fertilizantes.

Paralelamente aos impactos ambientais, a agricultura moderna enfrenta desafios crescentes relacionados à escassez de recursos naturais, à degradação dos ecossistemas e à instabilidade econômica dos produtores, especialmente os de menor escala. Esses fatores intensificam o debate sobre a necessidade de sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis, capazes de

aliar produtividade à conservação dos recursos naturais.

Segundo Pereira *et al.* (2013), a expansão das áreas agrícolas exige inovações tecnológicas que otimizem os sistemas produtivos, com foco na eficiência energética e na sustentabilidade. Nesse contexto, práticas que melhorem as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo se tornam essenciais para o desempenho produtivo das lavouras.

A adubação verde, fundamentada nos princípios da agroecologia, apresenta-se como uma alternativa consistente para o manejo ecológico do solo. Por meio do cultivo de espécies vegetais com elevada capacidade de fixação de nitrogênio, cobertura do solo e ciclagem de nutrientes, essa prática promove melhorias significativas nas condições edáficas e contribui para a redução da dependência de adubos minerais, mitigando os efeitos negativos da agricultura convencional.

Leguminosas da família Fabaceae, como *Cajanus cajan*, *Mucuna pruriens* e *Canavalia ensiformis*, têm demonstrado grande potencial na adubação verde voltada à cafeicultura. Além de melhorar a estrutura do solo e favorecer a ciclagem de nutrientes, auxiliam no controle de doenças como a cercosporiose e na redução dos custos com fertilizantes sintéticos (Chaves, 2001; Coelho *et al.*, 2006; Cardoso *et al.*, 2013).

Dessa forma, a adoção da adubação verde integra um movimento mais amplo de transição para práticas agrícolas sustentáveis, promovendo a segurança alimentar, a autonomia dos agricultores e a saúde dos agroecossistemas. Seu uso estratégico beneficia tanto grandes quanto pequenos produtores, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos e para o fortalecimento da economia rural.

2. Adubação verde

A adubação verde constitui uma prática agrícola fundamental na promoção da fertilidade do solo e na sustentabilidade dos sistemas produtivos. Seu uso contribui com o fornecimento de nutrientes e com o aumento da matéria orgânica, essenciais ao desenvolvimento vegetal, permitindo a redução da dependência de fertilizantes químicos e, conseqüentemente, dos custos de

produção (Buzinaro *et al.*, 2009; Silva Filho *et al.*, 2022). A técnica promove a incorporação de compostos orgânicos ao solo, originários da biomassa aérea e radicular das plantas de cobertura, bem como dos exsudatos liberados pelas raízes, os quais incluem ácidos orgânicos, aminoácidos, fitormônios e outros compostos bioativos (Delarmelinda *et al.*, 2010) (Figura 1).

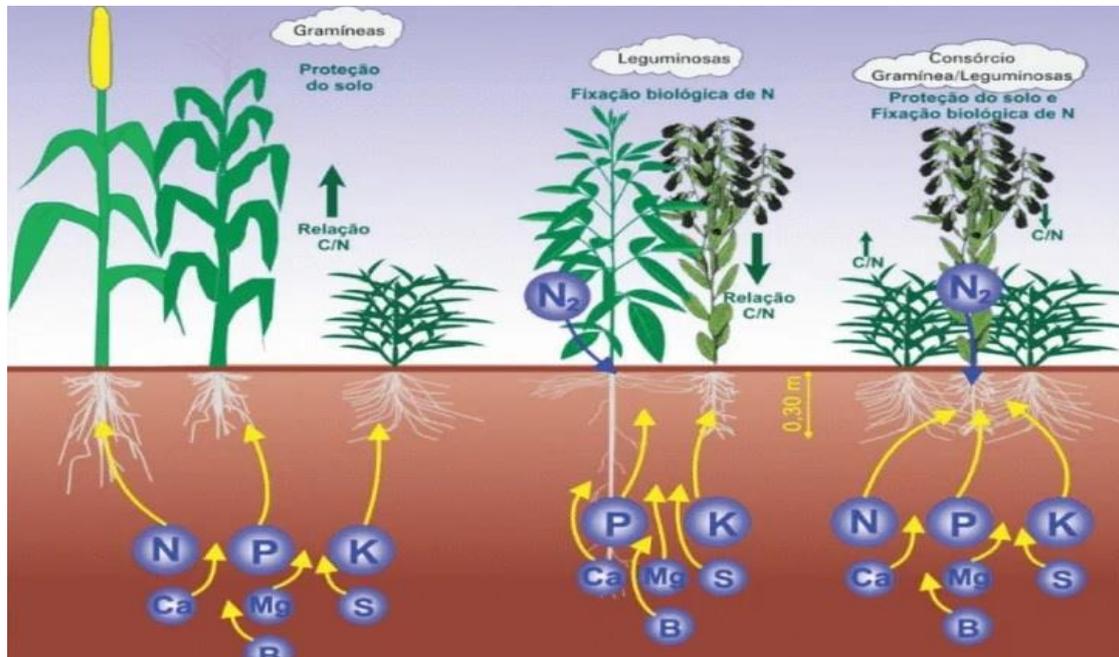


Figura 1. Multifunções da adubação verde. Fonte: Agropós. Arte: Sebastião Araújo. Disponível em: <https://blog.sensix.ag/adubacao-verde-sustentabilidade-e-economia-na-sua-producao/>.

De acordo com Silva *et al.* (1999), a adubação verde tem como objetivos manter ou recuperar os teores de matéria orgânica e nutrientes no solo, alinhando-se à tendência global de produção de alimentos mais saudáveis, com o mínimo uso de insumos químicos e reduzido impacto ambiental.

Nesse sentido, a técnica configura-se como um elemento-chave nos sistemas agroecológicos, ao utilizar plantas de raízes profundas e rústicas, capazes de reciclar nutrientes das camadas mais profundas do solo ou da atmosfera, promovendo a melhoria da fertilidade e da produtividade agrícola (Alcantara, 2016; Ferreira *et al.*, 2019).

Chaves (2000) destaca que essas plantas podem ser cultivadas diretamente no local ou introduzidas de outros ambientes, sendo posteriormente

incorporadas ao solo com a finalidade de conservar sua qualidade (Figura 2). Dentre os grupos vegetais empregados, destacam-se as gramíneas (como aveia-preta, milho, sorgo e braquiária) e as leguminosas (como mucuna, feijão-de-porco, trevo-branco e ervilhaca), muitas vezes cultivadas de forma intercalada com culturas comerciais. Essa prática resulta em melhorias significativas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas e para a conservação de solos já produtivos (Souza *et al.*, 2020; Filipini *et al.*, 2021).



Figura 2. Leguminosa cultivada no local do futuro plantio sendo incorporada ao solo. Fonte: BlogAeagro. Disponível em: <https://blog.sensix.ag/adubacao-verde-sustenta-bilidade-e-economia-na-sua-producao/>.

As leguminosas, especialmente crotalárias, mucunas, guandu, feijão-de-porco e feijão-caupi, têm sido amplamente utilizadas em razão de sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio e da produção de elevada biomassa. A palhada resultante melhora a estrutura física do solo, proporciona liberação gradual de nutrientes e promove a ciclagem de elementos essenciais de acordo com a demanda das culturas de interesse (Embrapa Agrobiologia, 2005).

A versatilidade da técnica permite sua aplicação em diversos sistemas agrícolas, incluindo consórcios com culturas como milho, batata-doce e abóbora,

favorecendo o aumento da renda, a diversificação da produção e a redução dos impactos ambientais. No entanto, a disponibilidade de sementes de qualidade ainda constitui uma limitação, exigindo dos produtores maior autonomia na produção e seleção das espécies mais adaptadas (Embrapa, 2005; Souza *et al.*, 2020).

Frente à elevação dos custos com fertilizantes sintéticos e à crescente preocupação com os impactos da agricultura intensiva, a adubação verde destaca-se como uma estratégia de baixo custo relativo e elevado retorno ecológico. Seu uso, tanto em consórcios como em rotação de culturas ou como cobertura permanente do solo, contribui para a construção de sistemas produtivos mais resilientes, menos dependentes de insumos externos e com maior eficiência no uso dos recursos naturais.

Ou seja, a adubação verde contribui significativamente para a melhoria da fertilidade do solo, uma vez que permite a mobilização de nutrientes presentes inclusive nas camadas mais profundas do perfil edáfico. Essa prática favorece a ciclagem de nutrientes, melhora a estrutura física do solo e estimula a atividade biológica, promovendo condições mais favoráveis ao desenvolvimento das culturas agrícolas de interesse econômico. Além disso, valoriza os recursos endógenos do sistema produtivo, reduzindo a dependência de insumos externos e, conseqüentemente, aumentando a sustentabilidade e a rentabilidade da atividade agrícola.

Segundo Arf *et al.* (1999), a decomposição dos adubos verdes pode ainda reduzir populações de fungos patogênicos e nematoides, por meio da liberação de substâncias alelopáticas, colaborando com o controle biológico de doenças e com a preservação da matéria orgânica do solo. Por essa razão, a técnica é considerada uma das formas mais econômicas e eficientes de manejo integrado de pragas e doenças.

Diversas espécies frutíferas estão suscetíveis ao ataque de fitonematoides, os quais comprometem diretamente o desenvolvimento fisiológico das plantas ao se alimentarem do conteúdo celular das raízes, provocando alterações metabólicas, redução na absorção de água e nutrientes, e comprometimento do vigor vegetativo. Além dos danos diretos, esses patógenos podem atuar como vetores de viroses ou interagir sinergicamente

com outros agentes bióticos e abióticos, contribuindo para o declínio e, em casos extremos, a morte das plantas. A magnitude dos prejuízos varia de acordo com a densidade populacional dos nematoides, as condições ambientais e, sobretudo, a suscetibilidade ou resistência genética do hospedeiro (Silva et al., 2022) (Figura 3).

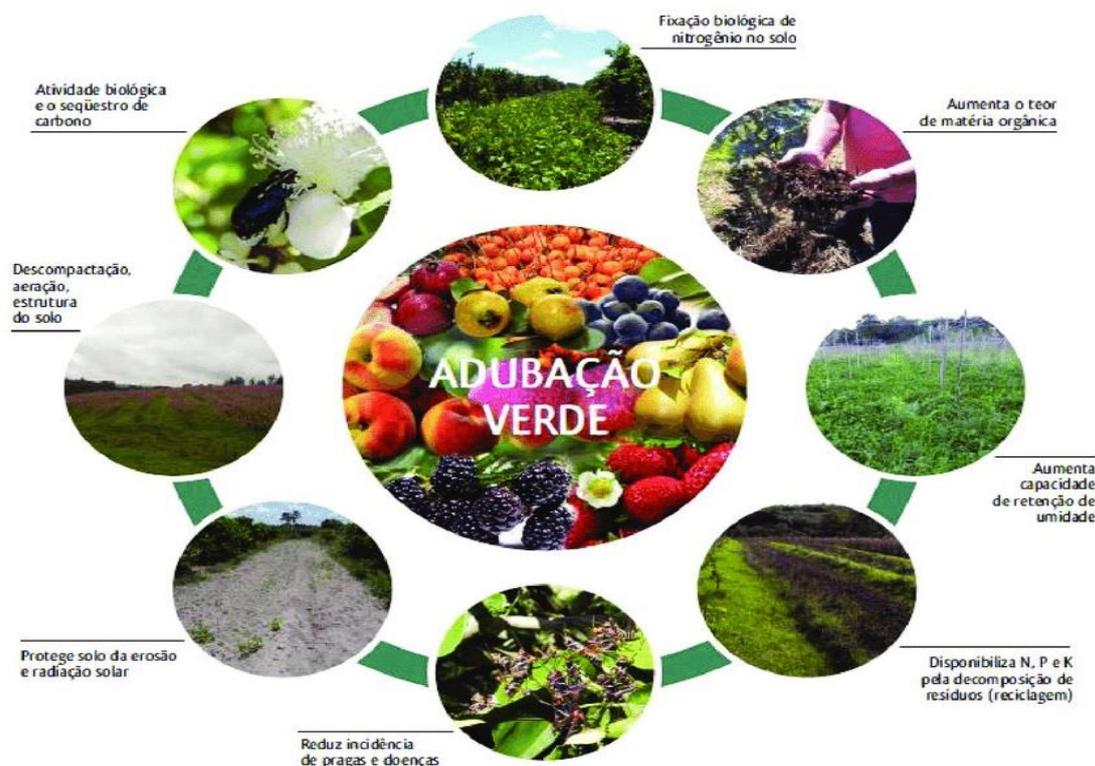


Figura 3. Síntese dos benefícios da adubação verde nos pomares de frutíferas.

Fonte: Martins *et al.*, 2021. Disponível em: EMBRAPA Clima Temperado.

Mais do que uma simples técnica de manejo, a adubação verde representa uma filosofia de cultivo comprometida com o equilíbrio entre produtividade, conservação ambiental e qualidade de vida dos agricultores. Sua ampla aplicabilidade e múltiplos benefícios tornam-na uma ferramenta indispensável para a agricultura moderna e para os processos de transição agroecológica, especialmente em contextos de vulnerabilidade social e ambiental.

Entretanto, como ressalta Calegari (1998), o êxito da adubação verde depende da adaptação das combinações de espécies às condições locais. Essa escolha deve considerar as especificidades dos sistemas de cultivo, as

características climáticas e edáficas da região, a infraestrutura disponível e o contexto socioeconômico dos produtores, especialmente os da agricultura familiar.

3. Relação Carbono/Nitrogênio e adubação verde

A relação carbono/nitrogênio (C/N) é um parâmetro essencial para avaliar a dinâmica da matéria orgânica no solo, a atividade microbiológica e a disponibilidade de nitrogênio (N) em formas assimiláveis pelas plantas. No solo, a relação C/N gira, em média, em torno de 10, o que indica equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização. Valores superiores a 12 apontam para excesso de carbono, o que pode induzir a imobilização do nitrogênio pelos microrganismos decompositores, retardando a decomposição dos resíduos vegetais e comprometendo a liberação de nutrientes (Braga, 2015; Araújo *et al.*, 2021).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais críticos e estudados no contexto da adubação verde, especialmente no uso de leguminosas herbáceas. Essas plantas apresentam a capacidade de realizar fixação biológica de nitrogênio (FBN), o que reduz, ou até elimina, a necessidade de fertilizantes minerais nitrogenados. Ao serem incorporados ao solo ou mantidos sobre sua superfície, seus resíduos vegetais enriquecem o ambiente edáfico com teores significativos de nitrogênio, favorecendo a fertilidade e a produtividade agrícola (Embrapa Agrobiologia, 2005; Nascimento *et al.*, 2023).

Resíduos de plantas com baixa relação C/N e teores reduzidos de lignina e polifenóis são de rápida decomposição, promovendo liberação acelerada de nitrogênio para as culturas subsequentes. Em contrapartida, resíduos com elevada relação C/N e maior teor de compostos recalcitrantes, como a lignina, decompõem-se mais lentamente, podendo provocar imobilização temporária de nitrogênio, o que exige atenção quanto à época de plantio e manejo (Embrapa, 2005; Pereira *et al.*, 2020).

As gramíneas, como relatam Calvo, Foloni e Brancalhão (2010), caracterizam-se pela elevada produção de biomassa e por apresentarem alta relação C/N, o que resulta em decomposição lenta e maior tempo de

permanência da palhada na superfície do solo. Esse efeito físico contribui para a conservação da estrutura superficial, proteção contra a erosão e retenção da umidade.

Por outro lado, as leguminosas se destacam por sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico (N_2) em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, proporcionando resíduos com baixa relação C/N e decomposição acelerada (Melo; Zilli, 2009). Essa característica favorece a liberação rápida de nutrientes, tornando-as ideais para cultivos com ciclo curto ou alta demanda inicial de nitrogênio. A associação entre gramíneas e leguminosas permite combinar as vantagens de cobertura prolongada e maior disponibilidade de nutrientes, além de favorecer a ciclagem de elementos essenciais como o nitrogênio (N) e o potássio (K) (Ferrari Neto *et al.*, 2011).

A utilização de leguminosas em adubação verde oferece benefícios múltiplos, como a proteção do solo contra o impacto direto da chuva, o aumento da matéria orgânica, a melhoria da estrutura do solo e a mobilização de nutrientes em camadas mais profundas graças ao seu sistema radicular profundo (Cavalcante *et al.*, 2012; Marques *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2018; Nascimento *et al.*, 2023). Dentre as leguminosas mais utilizadas, o *Cajanus cajan* (guandu) se destaca pela alta produção de biomassa e pelos efeitos positivos na fertilidade do solo, especialmente na disponibilidade de nitrogênio (Guimarães *et al.*, 2017).

A escolha das espécies para adubação verde deve considerar a quantidade e a qualidade da biomassa produzida, sendo a relação C/N um fator determinante para o manejo adequado. O uso isolado de gramíneas é eficiente para proteger o solo por longos períodos, mas pode exigir adição complementar de nitrogênio. Por sua vez, o uso exclusivo de leguminosas proporciona rápida mineralização dos resíduos e maior suprimento de nutrientes em curto prazo.

Dessa forma, o consórcio entre gramíneas e leguminosas é uma estratégia altamente recomendada, pois permite equilibrar a relação C/N dos resíduos vegetais, otimizar a cobertura do solo e aumentar a eficiência na ciclagem de nutrientes. Essa abordagem favorece a sinergia entre espécies, resultando em melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo, além de atender às exigências nutricionais de culturas como milho, soja e hortaliças (Souza *et al.*,

2020; Araújo *et al.*, 2021).

O fato é que a adubação verde com leguminosas é uma estratégia eficiente para o incremento de nitrogênio no solo, uma vez que essas espécies apresentam fitomassa com relação carbono/nitrogênio (C/N) próxima de 20. Essa característica confere maior succulência aos tecidos, favorecendo a rápida decomposição e, conseqüentemente, a mineralização da matéria orgânica, o que libera nutrientes reciclados e o nitrogênio fixado biologicamente (Wutke *et al.*, 2014).

Cabe considerar que a fixação biológica de nitrogênio (FBN) ocorre por meio da associação simbiótica entre leguminosas e bactérias do gênero *Rhizobium*, que colonizam as raízes das plantas, formando nódulos onde o nitrogênio atmosférico (N₂), na forma gasosa, é convertido em amônia (NH₃). Essa forma assimilável de nitrogênio é absorvida pelas plantas, contribuindo diretamente para o desenvolvimento vegetativo, incluindo folhas, raízes e frutos. Segundo Assmann *et al.* (2007), o trevo-branco (*Trifolium repens*) pode fixar até 500 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, evidenciando o potencial dessas espécies na redução da dependência de fertilizantes nitrogenados.



Figura 4. Sistema agroflorestal com angico (A) e canafístula como espécie emergente em SAF com tangerina no estrato médio (B). Fonte: Martins *et al.*, 2021. Disponível em: EMBRAPA Clima Temperado. Fotos: Joel Cardoso.

Além da incorporação de nitrogênio, as leguminosas utilizadas na adubação verde promovem melhorias nas propriedades físicas (como a estrutura e a porosidade do solo), químicas (como o aumento da CTC e da disponibilidade de nutrientes) e biológicas (como a diversidade e atividade microbiana), contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Figura 4).

Compreender a relação C/N é, portanto, indispensável para o manejo eficiente da adubação verde. Esse conhecimento permite ao agricultor tomar decisões mais estratégicas quanto ao momento ideal de corte e incorporação da biomassa, assegurando maior aproveitamento dos nutrientes, melhor desempenho das culturas e redução da dependência de fertilizantes químicos. Assim, a adubação verde torna-se uma ferramenta poderosa na construção de sistemas agrícolas mais resilientes, produtivos e ambientalmente sustentáveis.

4. Vantagens e desvantagens da adubação verde

A adubação verde apresenta uma série de vantagens agronômicas, ambientais e socioeconômicas que a tornam uma prática estratégica para sistemas agrícolas sustentáveis. De acordo com Chinelato (2025), essa técnica contribui para o aumento da capacidade de armazenamento de água no solo, resultado da formação de macro e microporos promovida pelo crescimento radicular das plantas utilizadas como adubos verdes. Esse processo também favorece a descompactação do solo, especialmente quando se adota uma diversidade de espécies vegetais, reduzindo os efeitos de chuvas intensas e minimizando a erosão hídrica.

Além disso, a adubação verde estimula a atividade microbiana do solo, fortalecendo o ciclo biogeoquímico dos nutrientes e promovendo o controle biológico de pragas e doenças. Outro benefício relevante é a reciclagem de nutrientes: as raízes profundas de muitas espécies utilizadas como cobertura vegetal são capazes de absorver nutrientes das camadas inferiores do solo, tornando-os disponíveis para culturas subsequentes, como soja e milho (Filipini *et al.*, 2021; Torres *et al.*, 2022). Em leguminosas, há ainda a fixação biológica de nitrogênio, que reduz significativamente a dependência de adubos minerais e aumenta a produtividade. Um exemplo é a *Crotalaria juncea*, que pode fixar até

159 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, beneficiando culturas como a cana-de-açúcar e promovendo ganhos expressivos já no primeiro corte (Silva; Dias; Moura, 2023; Chinelato, 2025).

Do ponto de vista agroecológico, a adubação verde também atua no controle de plantas daninhas e de pragas como os nematoides, contribuindo para a redução do uso de defensivos agrícolas. Ademais, mostra-se eficiente na recuperação de áreas degradadas, favorecendo a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o que se reflete diretamente no vigor e na produtividade das culturas (Rosa et al., 2024).

Conforme Filipini *et al.* (2021), os benefícios da adubação verde podem ser agrupados nas seguintes dimensões:

- ✓ Ambientais: mitigação da erosão, aumento da matéria orgânica, melhoria da retenção hídrica e do controle natural de pragas e doenças;
- ✓ Econômicos: redução dos custos com fertilizantes químicos e incremento da produtividade;
- ✓ Sociais: fortalecimento da soberania alimentar, maior autonomia do agricultor e menor exposição a agroquímicos.

A efetividade da adubação verde depende do correto planejamento e da execução adequada de cada uma das etapas envolvidas no processo, conforme ilustrado na Figura 5.

Contudo, apesar de suas vantagens, a adubação verde também apresenta alguns desafios. Chinelato (2025) ressalta que os custos iniciais de implantação e manejo das culturas de cobertura podem representar um obstáculo, especialmente para pequenos produtores. Além disso, a falta de um planejamento técnico adequado — como a escolha de espécies apropriadas, época de plantio e tempo de incorporação ao solo — pode comprometer os resultados esperados. Nessa perspectiva, autores como Oliveira *et al.* (2023) e Pereira *et al.* (2024) enfatizam a importância de assistência técnica e capacitação para o êxito da prática, especialmente em contextos de transição agroecológica.

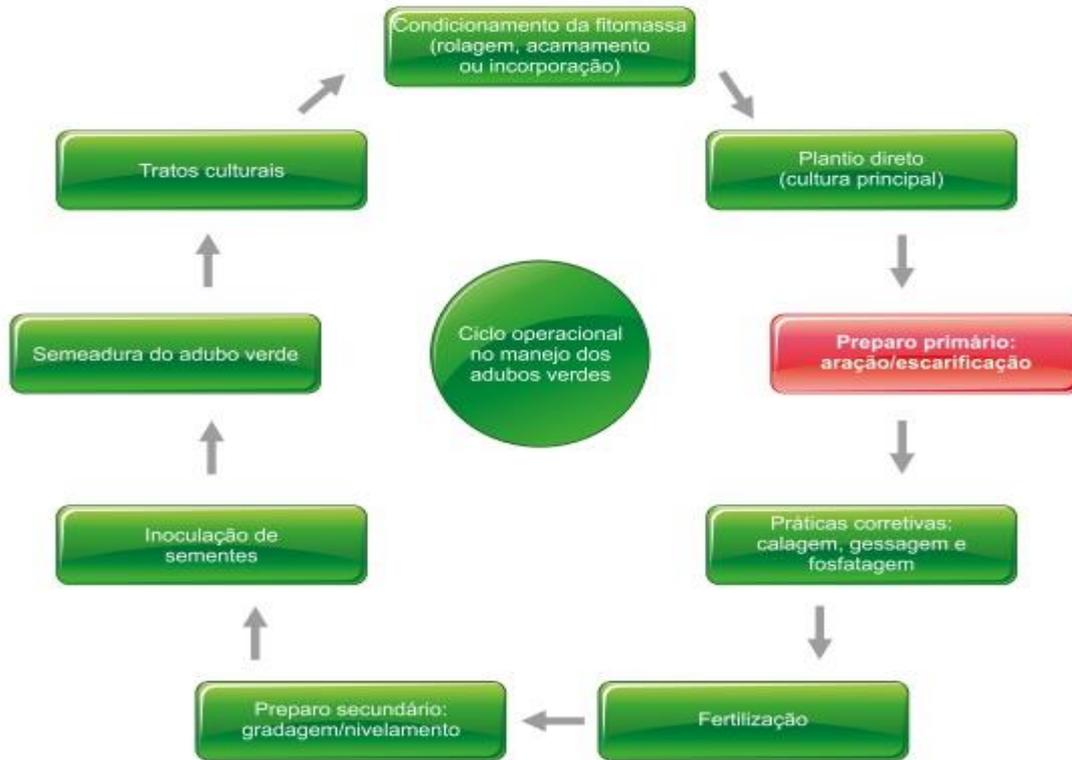


Figura 5. Ciclo operacional no manejo de adubos verdes, que se inicia pelo preparo primário do solo e termina com o plantio direto (cultura principal). Fonte: Adaptado de Peche Filho (1993). In: Lima Filho *et al.*, 2023.

5. Principais espécies utilizadas como adubo verde

A escolha adequada das espécies vegetais para a adubação verde é um dos principais fatores que determinam o sucesso da prática. Essa seleção deve considerar as condições climáticas da região, as características do solo, o sistema de produção adotado e os objetivos específicos, como cobertura do solo, incremento de matéria orgânica, fixação biológica de nitrogênio ou reciclagem de nutrientes.

De modo geral, as espécies mais utilizadas pertencem às famílias **Fabaceae** (leguminosas), **Poaceae** (gramíneas) e **Brassicaceae** (crucíferas), podendo ser cultivadas isoladamente ou em consórcios. As leguminosas, em especial, destacam-se por sua capacidade de fixação biológica de N, promovendo benefícios agrônômicos superiores em relação às demais famílias.

Segundo Miyasaka (1984), recomendam-se priorizar, para a adubação verde, espécies que apresentem elevada produção de matéria seca, boa

resistência a pragas e doenças, sementes uniformes com alto poder germinativo, rápido desenvolvimento inicial, ciclo curto, facilidade de manejo, sistema radicular profundo e baixa exigência quanto à fertilidade do solo e ao preparo prévio da área. Além disso, o cultivo dessas espécies deve demandar poucos cuidados culturais, contribuindo para a praticidade da técnica.

Tabela 1. Características de algumas leguminosas utilizadas para adubação verde

Espécie		Ciclo	Hábito de crescimento	Sementes	
Nome vulgar	Nome científico			Dureza	Massa (g/100 sem.)
Feijão-bravo-do-ceará	<i>Canavalia brasiliensis</i>	Perene	Volúvel	Sim	60.0
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	Anual	Ereto	Não	115.0
Critalária	<i>Crotalaria juncea</i>	Anual	Ereto	Não	5.0
Labe-Labe	<i>Lablab purpureum</i>	Anual	Volúvel	Não	25.0
Mucuna-preta	<i>Mucuna aterrima</i>	Anual	Volúvel	Não	70.0
Mucuna-cinza	<i>Mucuna pruriens</i>	Anual	Volúvel	Não	110.0
Soja	<i>Glycine max</i>	Anual	Ereto	Não	15.0
Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	Semiperene	Ereto	Não	10.0
Amendoim-forrageiro	<i>Arachis pintoi</i>	Perene	Rastejante	Não	15.0
Calopogônio	<i>Calopogonium mucunoides</i>	Perene	Volúvel	Sim	3.5
Centrosena	<i>Centrosema pubescens</i>	Perene	Volúvel	Sim	3.5
Cunhã	<i>Clitoria ternatea</i>	Perene	Volúvel	Sim	4.6
Galáxia	<i>Galactia striata</i>	Perene	Volúvel	Sim	3.5
Soja-perene	<i>Glycine wightii</i>	Perene	Volúvel	Sim	0.5
Siratro	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Perene	Volúvel	Sim	1.5
Cudzu-tropical	<i>Pueraria phaseoloides</i>	Perene	Volúvel	Sim	1.2
Estilosantes	<i>Stylosanthes guianensis</i>	Perene	Ereto	Sim	0.2

Fonte: EMBRAPA, 2005.

De acordo com Espíndola *et al.* (1997), ao escolher leguminosas para adubação verde, é essencial considerar o hábito de crescimento das plantas, que pode ser ereto, prostrado ou volúvel. Em cultivos consorciados, o uso de

espécies de hábito volúvel, que atuam como trepadeiras, exige atenção especial para evitar interferências indesejadas sobre a cultura principal.

A Tabela 1, a seguir, apresenta as principais características agrônômicas de algumas leguminosas comumente utilizadas como plantas de cobertura para adubação verde.

Conforme a Embrapa (2005), a produção das leguminosas utilizadas como adubo verde é fortemente influenciada por fatores climáticos, tais como temperatura e disponibilidade hídrica. Regiões como o Sudeste brasileiro, caracterizadas por verões quentes e chuvosos, oferecem condições ideais para o desenvolvimento dessas plantas. Em contrapartida, os cultivos realizados durante o inverno tendem a apresentar crescimento mais lento, em função das temperaturas mais baixas, da restrição de água e da sensibilidade de algumas espécies ao encurtamento do fotoperíodo.

A seguir, são listadas leguminosas utilizadas na adubação verde, categorizadas conforme suas adaptações ambientais, o que evidencia sua versatilidade e eficiência em diferentes condições de cultivo:

➤ **Leguminosas por adaptação ambiental:**

✓ **Baixadas úmidas:** Centrosema (*Centrosema pubescens*), Cudzu-tropical (*Pueraria phaseoloides*), Sesbânia (*Sesbania sesban*).

✓ **Condições de frio:** Chícharo (*Lathyrus sativus*), Ervilhaca-comum (*Vicia sativa*), Tremoço-branco (*Lupinus albus*), Trevo-branco (*Trifolium repens*), Trevo-vermelho (*Trifolium pratense*).

✓ **Déficit hídrico:** Caupi (*Vigna unguiculata*), Cunhã (*Clitoria ternatea*), Estilosantes (*Stylosanthes guianensis*), Feijão-bravo-do-Ceará (*Canavalia brasiliensis*), Feijão-mungo (*Vigna radiata*), Galáxia (*Galactia striata*), Guandu (*Cajanus cajan*).

✓ **Sombreamento:** Cudzu-tropical (*Pueraria phaseoloides*), Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*).

✓ **Baixa fertilidade do solo:** Amendoim-forrageiro (*Arachis pintoï*), Crotalária (*Crotalaria juncea*), Cudzu-tropical (*Pueraria phaseoloides*), Feijão-bravo-do-Ceará (*Canavalia brasiliensis*), Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), Guandu (*Cajanus cajan*), Indigófera (*Indigofera* spp.), Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), Siratro (*Macroptilium atropurpureum*).

Além disso, algumas espécies destacam-se por usos específicos e características agrônômicas importantes:

- ✓ **Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*):** apresenta crescimento ereto e elevado potencial para consórcios agrícolas.
- ✓ **Crotalaria (*Crotalaria juncea*):** muito indicada para rotação de culturas, devido à alta produção de biomassa e à eficiente fixação de nitrogênio.
- ✓ **Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*):** possui hábito de crescimento volúvel e destaca-se pela eficácia na reciclagem de nutrientes (Figura 6).

As gramíneas, apesar de não realizarem fixação biológica de nitrogênio, são amplamente utilizadas como plantas para adubação verde. Devido à sua elevada relação carbono/nitrogênio (C/N), a liberação de nutrientes, especialmente do nitrogênio, ocorre de forma gradual e mais lenta (FLOSS, 2001). Essa decomposição retardada permite que a cobertura vegetal permaneça por períodos prolongados sobre o solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica e contribuindo para a melhoria das propriedades físicas do solo, como estrutura, porosidade e capacidade de retenção hídrica.



Figura 6. Adubação com mucuna preta (*Mucuna aterrima*). Fonte: Lima Filho *et al.*, 2023.

Segundo Andreola *et al.* (2000), o uso de gramíneas como cobertura do

solo não necessariamente resulta em aumento de produtividade para culturas não leguminosas cultivadas em sucessão. Contudo, essa prática pode beneficiar espécies leguminosas, as quais não dependem exclusivamente do nitrogênio liberado pela decomposição da palhada e conseguem utilizar de forma mais eficiente os demais nutrientes disponibilizados, além de se beneficiarem das melhorias físicas promovidas ao solo.

Adicionalmente, o êxito da adubação verde está condicionado à escolha criteriosa das espécies, adaptadas às condições climáticas e ao sistema produtivo local, garantindo benefícios que incluem maior fertilidade do solo, controle eficiente de plantas daninhas e mitigação dos impactos ambientais decorrentes da agricultura convencional.

Estudos recentes confirmam a importância da combinação entre gramíneas e leguminosas para potencializar esses efeitos, promovendo sistemas agrícolas mais sustentáveis e produtivos (Souza *et al.*, 2022; Martins; Almeida, 2023).

6. Adubação verde e cafeicultura

Em 1955, a Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, em parceria com o Instituto Brasileiro do Café (IBC), publicou um boletim técnico de autoria do engenheiro-agrônomo José Gomes da Silva, intitulado Adubação verde: método prático de produzir matéria orgânica no próprio cafezal (Silva, 1955 *apud* Lima Filho *et al.*, 2023). O título, por si só, já sintetiza a relevância do tema abordado.

No documento, o autor destaca a importância da prática para a cafeicultura, enfatizando que:

“O café, cultura que vem sustentando o nosso país no último século da nossa história econômica, não poderia deixar de tirar partido da adubação verde. [...] A adubação verde adquire excepcional importância quando se considera a grande avides do cafeeiro pelo húmus e a extraordinária velocidade com que se decompõe a matéria orgânica nas nossas condições de clima, solo e topografia. Torna-se então, para a cafeicultura, uma das maneiras mais econômicas e eficientes de manter a fertilidade da terra, assegurando boas produções e melhorando o solo física, química e biologicamente. [...] A adubação verde representa também a forma mais econômica de incorporar nitrogênio, fósforo e potássio, se considerarmos que todos os

componentes químicos constituintes da massa verde da leguminosa foram retirados de formas minerais do solo que não são aproveitadas facilmente pelo cafeeiro” (Silva, 1955, p. 1 *apud* Lima Filho *et al.*, 2023).

Nos dias atuais, a cafeicultura continua sendo uma das atividades agrícolas mais relevantes do Brasil, tanto sob o aspecto econômico quanto social. Entretanto, a cultura do café exige altos níveis de fertilidade do solo, principalmente para nutrientes como nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P), o que frequentemente implica em elevado uso de fertilizantes químicos. Essa dependência, somada ao aumento dos custos dos insumos e à crescente demanda por práticas sustentáveis, tem impulsionado a adoção de alternativas de manejo mais ecológicas, como a adubação verde (Rocha, 2014; Silva *et al.*, 2021).

Cultivos que adotam práticas conservacionistas, especialmente a cobertura do solo por plantas de adubação verde, apresentam benefícios significativos, como melhor aproveitamento da água da chuva, incremento da matéria orgânica e melhoria das propriedades físicas do solo, refletindo em maior resistência das plantações a estresses ambientais e maior estabilidade socioeconômica (Rocha, 2014; Gonçalves *et al.*, 2020) (Figura 7).



Figura 7. Leguminosa em consórcio com cafezal. Fonte: <https://www.sitiopema.com.br/adubacao-verde-reduzir-custos-aumentar-productividade/>.

Espécies de gramíneas como *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria ruziziensis* são particularmente valorizadas nesse contexto por sua alta produção

de biomassa, potencial de cobertura e sistema radicular profundo, que promovem a aeração e infiltração da água no solo, além de contribuir para a retenção da umidade e controle da erosão (Marin *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2022) (Figuras 8 e 9).



Figura 8. Lavoura de café implantada com o manejo da braquiária nas entrelinhas, Serra da Canastra, MG. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2019.



Figura 9. Lavoura de café com o manejo da braquiária nas entrelinhas (Sistema APRomero), Serra da Canastra, MG. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2019.

Estudos realizados na Universidade Federal de Viçosa (UFV) demonstram que a adição de adubos verdes, como *Crotalaria juncea*, pode promover

crescimento vegetativo superior em cafeeiros (*Coffea arabica*), indicando efeitos positivos da biomassa incorporada na fertilidade do solo e no desenvolvimento das plantas (Rodrigues *et al.*, 2014). De forma semelhante, Bergo *et al.* (2006) evidenciaram que o consórcio do cafeeiro com leguminosas como *Mucuna aterrima* e *Flemingia congesta* aumentou a produtividade e melhorou atributos físicos e químicos do solo em sistemas familiares, enquanto espécies como *Canavalia ensiformis* mostraram efeitos menos favoráveis.

No que tange ao controle de plantas espontâneas, Parajara *et al.* (2020) demonstraram que a utilização de leguminosas para cobertura do solo, como *Cajanus cajan*, contribui para a supressão eficaz dessas plantas em sistemas de café conilon, reduzindo a necessidade do uso de herbicidas e favorecendo o manejo integrado de culturas. Estudos locais realizados em Alegre (ES) reforçam o potencial da adubação verde, destacando o uso de espécies como mucuna-preta, que apesar do manejo mais intenso, apresentou alta produção de biomassa e maior rentabilidade econômica, com ganhos de receita líquida superiores a 90% em comparação ao cultivo convencional (Zacarias *et al.*, 2019).

Além dos benefícios agrônômicos, a adubação verde contribui para a sustentabilidade ambiental do sistema produtivo, promovendo a conservação do solo, a ciclagem de nutrientes e a redução do uso de insumos sintéticos, alinhando-se aos princípios da agroecologia e oferecendo aos produtores rurais alternativas para a mitigação dos impactos ambientais associados à cafeicultura convencional (Silva *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2020). Dessa forma, a integração de adubos verdes nos sistemas cafeeiros representa uma estratégia promissora para garantir a sustentabilidade econômica e ambiental do setor, fortalecendo a resiliência dos sistemas produtivos frente às mudanças climáticas e oscilações do mercado.

7. Considerações

A adubação verde destaca-se como uma prática fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, ao integrar a promoção do aumento da produtividade com a conservação dos recursos naturais. O emprego de plantas, especialmente leguminosas, como fontes naturais de nutrientes, possibilita a

redução significativa da dependência de fertilizantes químicos, que além de onerar a produção, podem causar impactos ambientais negativos quando utilizados em excesso.

Os benefícios promovidos pela adubação verde abrangem a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com destaque para a elevação dos teores de matéria orgânica, a ciclagem eficiente de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio e o estímulo à atividade microbiana benéfica. Além disso, esta técnica contribui diretamente para a mitigação da erosão, aumento da capacidade de retenção hídrica e restauração da estrutura do solo, elementos cruciais para a manutenção da fertilidade e saúde do ecossistema agrícola, especialmente em contextos de mudanças climáticas e pressões sobre os recursos naturais.

Em sistemas produtivos variados, como na cafeicultura, a adubação verde tem apresentado resultados promissores, principalmente quando há consórcios com espécies adaptadas, como *Mucuna pruriens* e *Tithonia diversifolia*. Estes consórcios não apenas incrementam a biomassa e melhoram a qualidade do solo, mas também favorecem o aumento da receita líquida dos produtores, demonstrando que sustentabilidade e viabilidade econômica podem caminhar juntas. A adaptação e o manejo adequado das espécies às condições locais são determinantes para maximizar esses ganhos, destacando a importância da pesquisa e extensão rural para disseminar práticas eficientes e contextualizadas.

Contudo, a eficácia da adubação verde depende de um planejamento técnico rigoroso, que considere aspectos como a relação carbono/nitrogênio (C/N) das espécies escolhidas, o ciclo das culturas, a época e frequência do manejo da biomassa, bem como a integração harmoniosa com o sistema produtivo adotado. Além disso, é fundamental o desenvolvimento de capacitação técnica para os agricultores, que necessitam compreender as particularidades dessa prática para evitar manejos inadequados que possam comprometer os resultados esperados.

Apesar das limitações pontuais, tais como os custos iniciais de implantação, a disponibilidade e qualidade das sementes, e a necessidade de maior investimento em mão de obra para o manejo, os benefícios a médio e longo prazo justificam esses desafios. O retorno financeiro e ecológico obtido

pela adoção da adubação verde reforça seu papel como uma alternativa estratégica para a construção de sistemas agrícolas resilientes, produtivos e ambientalmente responsáveis.

A adubação verde na cafeicultura agroecológica oferece diversos benefícios agronômicos e ambientais. Essa prática contribui para a melhoria da fertilidade do solo, promovendo a ciclagem de nutrientes, especialmente o N, por meio da fixação biológica realizada por leguminosas. Além disso, favorece a estrutura do solo, aumenta a matéria orgânica, reduz a compactação e melhora a infiltração de água. No manejo agroecológico, a adubação verde também auxilia no controle de plantas espontâneas, na supressão de pragas e doenças e na promoção da biodiversidade, fortalecendo a resiliência do sistema. Com menor dependência de insumos externos, o cafeicultor pode reduzir custos, manter a produtividade e contribuir com a sustentabilidade da produção.

Por fim, a adoção ampla da adubação verde contribui para a autonomia dos agricultores, reduzindo a dependência de insumos industriais e fortalecendo a segurança alimentar e econômica das comunidades rurais. Esta prática se consolida, assim, como um componente indispensável para a transição rumo a uma agricultura moderna, sustentável e capaz de responder aos desafios globais da conservação ambiental e do desenvolvimento rural.

8. Referências

ABRANCHES, M. O. *et al.* Contribuição da adubação verde nas características químicas, físicas e biológicas do solo e sua influência na nutrição de hortaliças. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e7410716351, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16351>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ALCANTARA, F. **O que é e como fazer adubação verde**. Embrapa, 2016. (Saber e Fazer Agroecologia: Por uma agricultura mais generosa com a terra e com as pessoas, n. 5). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1047024/1/SabereFazerAgroecologia5ainfo.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2025.

ALTIERI, M. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba: Agropecuária, 2002.

ANDREOLA, F. *et al.* A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão de feijão/milho. **Revista Brasileira de**

Ciência do Solo, v. 24, n. 4, p. 867-874, 2000.

ARAÚJO, F. S. *et al.* Influência da relação C/N na decomposição de resíduos vegetais e liberação de nutrientes. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 1, p. 101-110, 2021.

ARAÚJO, J. B. S., BALBINO, J. W. S. Manejo de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) sob dois tipos de poda em lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, n. 2: p. 61-68, 2007. Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANANDA). Anuário estatístico do setor de fertilizantes-2013. São Paulo. 2014.176p.

ARF, O.; SILVA, L. S.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; HERNANDEZ, F. B. T. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2029-2036, nov. 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v34n11/7508.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2013.

ASSMANN, T. S. F. *et al.* Fixação biológica de nitrogênio em espécies forrageiras e sua contribuição para o sistema de produção. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 209–213, 2007. DOI: 10.18539/CAST.V13I2.2046

BARDUCCI, A. F.; LIMA, M. R.; SOUZA, E. J. Adubação verde como estratégia para o manejo sustentável do solo: aspectos físicos, químicos e biológicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 3, p. 88-102, 2022.

BERGO, C. L. *et al.* Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazônia**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 19- 24, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672006000100004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 19 jul. 2025.

BORGES *et al.* **Adubação verde como alternativa para agricultura sustentável**. XIX Encontro Científico. 2018.

BRAGA, G, N, M. **Conhecer o N total na Determinação da Relação C/N do Solo**. Porto Alegre.2015.

BUZINARO, T. N.; BARBOSA, J. C.; NAHAS, E. Atividade microbiana do solo em pomar de laranja em resposta ao cultivo de adubos verdes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 2, p. 408-415, 2009.

CALEGARI, A. Espécies para cobertura do solo. In: DAROLT, M. R. (Org.). **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: Iapar, 1998. p. 65-94. (IAPAR. Circular, 101).

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 118 p.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n1/11.pdf>>.

Acesso em: 28 fev. 2013.

CARDOSO, R. M. de L.; CHAVES, J. C. D.; FANTIN, D.; LOURENÇO JR., V. Eficiência de adubos verdes no manejo de mancha de *Cercospora* em cafeeiros. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 2, p. 122-127, 2013.

CASTRO, G. C.; VIEIRA, C. R.; WEBER O. L. S. Carbono orgânico e nitrogênio total nas frações granulométricas e húmicas em solos sob diferentes texturas. **Nativa**, v. 6, n. 6, p. 575-581, 2018.

CAVALCANTE, V. S. *et al.* Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 521-528, 2012.

CHAVES, J. C. D. **Benefícios da adubação verde na lavoura cafeeira**. Londrina: IAPAR, 2000.

CHAVES, J. C. D. Contribuições adicionais da adubação verde para a lavoura cafeeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2001. v. 1, p. 2440-2448, 2001.

COELHO, R. A.; SILVA, G. T. A.; RICCI, M. S. F.; RESENDE, A. S. Efeito de leguminosas arbóreas na nutrição nitrogenada do cafeeiro (*Coffea canephora* Pierre ex Froehn) consorciado com bananeira em sistema orgânico de produção. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 21-27, 2006.

DELARMELINDA, E. A.; SAMPAIO, F. A. R.; DIAS, J. R. M.; TAVELLA, L. B.; SILVA, J. S. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 3, p. 625-628, 2010.

DIAS, R.; MELO, B. D.; SILVEIRA, M. D. Fontes e proporções de material orgânico para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 758-764, 2009.

EMBRAPA. **Adubação verde com leguminosas** / Embrapa Agrobiologia. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 49 p.: il. – (Coleção Saber).

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. **Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia, 1997. 20 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 42).

FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M. Plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoneira no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 978-985, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rca/v42n4/a21v42n4.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

FERREIRA, D. A. *et al.* Dinâmica de nutrientes em plantas de cobertura e sua relação com o desempenho de culturas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 14, n. 2, 2019.

FILIPINI, L.; LUCAS, R. R.; STRATTON, A. E. **Adubação verde**: ferramenta da agroecologia. 1. ed. Florianópolis, SC: Cepagro, 2021. Disponível em: <https://cepagro.org.br/wp-content/uploads/2022/03/cartilha-adubacao-verde-web.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2025.

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 57, p.25-17, 2000.

FREIRE, J. R. J. Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosas”. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Eds.) **Microbiologia do Solo**. Campinas: SBCS, 1992. p.121-140.

GONÇALVES, L. A. *et al.* Adubação verde em sistemas de produção de café: benefícios agronômicos e ambientais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, p. 1-11, 2020.

GUIMARÃES, F. S.; CIAPPINA, A. L.; ANJOS, R. A. R.; SILVA, A.; PELÁ, A. Consórcio guandu-milho-braquiária para integração lavoura pecuária. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, p. 22-27, 2017.

LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 564 p.

LIMA, I. M. O. *et al.* Adubos verdes para o incremento dos estoques de carbono em Neossolo Quartzarênico de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 4, p. e5588, 2018.

LOPES, O. M. N.; ALVES, R. N. B. **Adubação verde e plantio direto**: alternativas de manejo agroecológico para a produção agrícola familiar sustentável. Belém, PA, 2002.

MANEJE BEM. **Adubação Verde**: Conheça as 7 leguminosas mais utilizadas - Maneje Bem - Fitocon. Disponível em: <https://www.manejebem.com.br/publicacao/novidades/adubacao-verde-conheca-as-7-leguminosas-mais-utilizadas>. Acesso em: 26 jul. 2025.

MARIN, C. M.; SANTOS, E. L.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Produtividade e componentes de rendimento da soja em função da quantidade de palha de milho e braquiária. In: VIII Congresso Brasileiro de Soja, 8., 2018, Goiânia. Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 377-379.

MARQUES, J. D. de O. *et al.* Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of Central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 232-242, 2015.

MARTINS, L. C.; ALMEIDA, T. F. Potencial das gramíneas na ciclagem de nutrientes e conservação do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Sustentável**, v. 15, n. 1, p. 45–59, 2023.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.;

FERNANDES, D. R. **Cultura do café do Brasil**: novo manual de recomendação. Brasília: MAPA; Fundação Procafé, 434 p. 2005.

MELO, S. R.; ZILLI, J. E. Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o Estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p.1177-1183, 2009.

MENEGUELLI-SOUZA, J. B. **Planejamento da produção**: gestão do agronegócio café. Alegre/ES, 2015. Produtos sementes: Disponível em: <http://www.leandro_sementes.com.br/produtos.asp?todos=1> Acesso em: 20 maio 2019.

MIYASAKA, S. Histórico do estudo de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. **Adubação Verde no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.64-123.

NASCIMENTO, R. C. *et al.* A influência da relação C/N em sistemas agroecológicos com adubação verde. **Cadernos de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 34-42, 2023.

PARAJARA, M. do C. *et al.* Avaliação de espécie leguminosa em consórcio com café no controle de plantas invasoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 11., 2020, São Cristóvão, Sergipe. **Anais [...]**. São Cristóvão: 2020. v. 15, no 2. Disponível em: <http://cadernos.abaagroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/3429/4610>. Acesso em: 19 jul. 2025.

PEREIRA, G. A. *et al.* Lignina e C/N na decomposição de plantas de cobertura. **Revista de Agricultura Sustentável**, v. 30, n. 2, p. 112-120, 2020.

ROCHA, O. M.; GUERRA, A. F.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, A. S.; BARTHOLO, G. F.; Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no Cerrado. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 516-526, 2014.

RODRIGUES, M. C. *et al.* Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro sob adubação com composto orgânico e crotalária. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 6., 2014, Viçosa. **Anais [...]** Viçosa: 2014. p. 102 -106. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3920/1/arquivo4-102-106.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2025.

SANTOS, V. P.; OLIVEIRA, J. M.; MOURA, T. F. Adubação verde: impactos ambientais, econômicos e sociais nos sistemas agrícolas. **Revista de Ciências Agrárias Sustentáveis**, v. 11, n. 2, p. 135-148, 2024.

SILVA FILHO, J. L. *et al.* Adubação verde como prática conservacionista na agricultura tropical. **Revista de Agricultura Sustentável**, v. 32, n. 1, p. 85-94, 2022.

SILVA, F. A.; SOUZA, D. C.; MENDES, R. M. Práticas sustentáveis na cafeicultura: o papel da adubação verde. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 15, n. 2, p. 87-98, 2021.

SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde em citros**. Jaboticabal: Funep, 1999. 37p.

SILVA, R. L.; FERREIRA, D. C. Contribuições das leguminosas para a ciclagem de nutrientes e a sustentabilidade agrícola. **Cadernos de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 45-59, 2023.

SOUZA, F. P.; LIMA, R. S.; PEREIRA, M. A. Consórcios de gramíneas e leguminosas para sistemas sustentáveis de produção. **Agroecologia em Revista**, v. 17, n. 2, p. 101-114, 2022.

SOUZA, M. N.; COSTA, R. S.; ALMEIDA, J. P. Uso de *Brachiaria* spp. na conservação do solo em sistemas de produção cafeeira. **Revista de Agricultura Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 15-27, 2022.

SOUZA, M. T. *et al.* Plantas de cobertura na agricultura sustentável: serviços ecossistêmicos e desafios. **Agroecologia Hoje**, v. 12, n. 3, p. 155-172, 2020.

WUTKE, E. B. *et al.* Adubação verde e plantas de cobertura do solo. In: **Informações Agronômicas**, n. 145, p. 1-15, 2014. [Instituto Agronômico de Campinas – IAC].

ZACARIAS, A. J. *et al.* Avaliação na produção de biomassa e análise econômicofinanceira na implantação de adubos verdes em consórcio com cafeeiro. In: **Cafeicultura no Caparaó: Resultados de Pesquisas III**, Alegre ES, p. 136-148, 2019. Disponível em: <https://caparaojr.com/wp-content/uploads/2020/12/Cafeicultura-no-Caparao-Resultados-dePesquisa-III.pdf#page=136>. Acesso em: 19 jul. 2025.

CAPÍTULO 4

Bioindicadores e controle ecológico: estratégias sustentáveis no manejo de pragas e doenças agrícolas

Ana Lídia Chaves Gomes, Andresa Carolina Mendes Pinheiro, Karenn Zavarize Bermond, José Elias Alves Adão, Mayra da Silva Polastrelli Lima, Wagner Gonçalves de Sá, Fernanda Barcelos de Paula, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c4>

Resumo

A partir da Revolução Verde, métodos de controle químico de pragas, doenças e nutrição vegetal foram amplamente difundidos nas áreas agrícolas. Contudo, sintomas de deficiências nutricionais e ataques de pragas podem ser interpretados como bioindicadores das condições reais do sistema produtivo. No caso do cafeeiro, por exemplo, desequilíbrios nutricionais estão frequentemente associados à maior incidência de pragas e doenças. Reconhecer esses sinais como indicadores ecológicos é fundamental, mas também se faz necessário o controle das causas subjacentes. Nesse contexto, a aplicação de caldas e extratos naturais surge como uma alternativa ecológica para promover o equilíbrio entre a produção agrícola e a conservação ambiental. Este trabalho tem como objetivo compreender a função dos bioindicadores no agroecossistema e como utilizá-los no manejo sustentável de pragas e doenças.

Palavras-chave: Bioindicadores. Manejo ecológico. Caldas naturais. Extratos vegetais. *Coffea canefora*. Agroecologia.

1. Introdução

Com o avanço tecnológico ocorrido no Brasil a partir da década de 1970, consolidou-se o modelo conhecido como “Revolução Verde”, cujo objetivo principal era industrializar o campo por meio da expansão do monocultivo, da abertura de novas e extensas áreas de produção e da intensificação do uso de insumos químicos — como fertilizantes e defensivos agrícolas — geralmente produzidos fora das propriedades rurais (Silva *et al.*, 2023).

Esse modelo rapidamente se disseminou no meio rural, promovendo uma ruptura com os saberes tradicionais construída por gerações de agricultores. Ao priorizar a padronização dos métodos de produção, a Revolução Verde desconsiderou as especificidades físico-químicas, ecológicas e culturais de cada território, resultando em impactos e externalidades negativos como a contaminação ambiental e a redução da biodiversidade (Silva *et al.*, 2022).

Em contraponto a esse paradigma, emerge a agroecologia, entendida como uma ciência que fundamenta e orienta sistemas produtivos sustentáveis. Segundo Caporal e Costabeber (2004), a agroecologia fornece bases científicas e metodológicas para práticas agrícolas comprometidas com a justiça social e a conservação ambiental, promovendo a segurança alimentar e a conservação/preservação da biodiversidade por meio da aplicação de princípios ecológicos aos sistemas de produção.

Embora tenha sido oficialmente reconhecida como ciência pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em 2006, a agroecologia tem raízes muito anteriores à modernização agrícola, estando presente nas práticas de comunidades rurais que historicamente cultivavam a terra de forma integrada aos ciclos naturais. Assim, a agroecologia busca restabelecer a relação harmônica entre ser humano e natureza, favorecendo sistemas produtivos que conciliem biodiversidade e sustentabilidade (Gomes; Assis, 2013).

Nesse contexto, a ocorrência de pragas e doenças nos cultivos passa a ser interpretada, sob a ótica agroecológica, como um importante sistema de alerta: os bioindicadores. Ao invés de serem vistos unicamente como problemas a serem eliminados, pragas e doenças revelam desequilíbrios nos agroecossistemas e oferecem pistas sobre a qualidade ambiental da lavoura. Como afirmam Medeiros *et al.* (2010), é necessário superar a conotação

negativa historicamente atribuída a esses organismos e reconhecê-los como aliados na leitura ecológica dos sistemas de produção.

Consideram-se bioindicadores todos os organismos ou sinais que refletem o estado de equilíbrio de um sistema, como espécies vegetais espontâneas, agentes fitopatogênicos, características da matéria orgânica do solo, entre outros. A correta identificação desses elementos permite uma intervenção mais precisa, promovendo o manejo agroecológico adequado e contribuindo para a restauração do equilíbrio ecológico (Oliveira, 2004;).

Diante disso, o presente trabalho propõe uma releitura da presença de pragas e doenças em sistemas de produção sob a perspectiva agroecológica, compreendendo-os como bioindicadores da saúde do agroecossistema. Além disso, busca apresentar alternativas técnicas de manejo que contribuam para restabelecer o equilíbrio em lavouras cafeeiras que manifestam fragilidades diante da ocorrência desses indicadores biológicos.

2. Indicadores de sustentabilidade para ecossistemas

A agroecologia compreende os sistemas de produção como organismos vivos e únicos, nos quais a qualidade dos processos metabólicos é determinada pelas interações locais e pelo contexto ecológico, social e cultural específico. Dessa forma, os sistemas produtivos agroecológicos não seguem modelos padronizados, mas sim princípios que se adaptam à realidade de cada território, valorizando a biodiversidade, a ciclagem de nutrientes e o conhecimento tradicional (Altieri; Nicholls, 2020).

A aplicação de técnicas agroecológicas e o manejo integrado devem ser pautados em uma leitura crítica do ambiente, com atenção às possíveis fragilidades do sistema. A partir dessa leitura, são desenvolvidas estratégias de fortalecimento das interações ecológicas, que favorecem o equilíbrio e a resiliência do agroecossistema. Ainda que cada sistema tenha suas especificidades, muitos problemas enfrentados pelos produtores agroecológicos apresentam padrões recorrentes, o que justifica a necessidade de *checklists* diagnósticos e do uso de indicadores de sustentabilidade (Fialho *et al.*, 2019) (Figura 1).

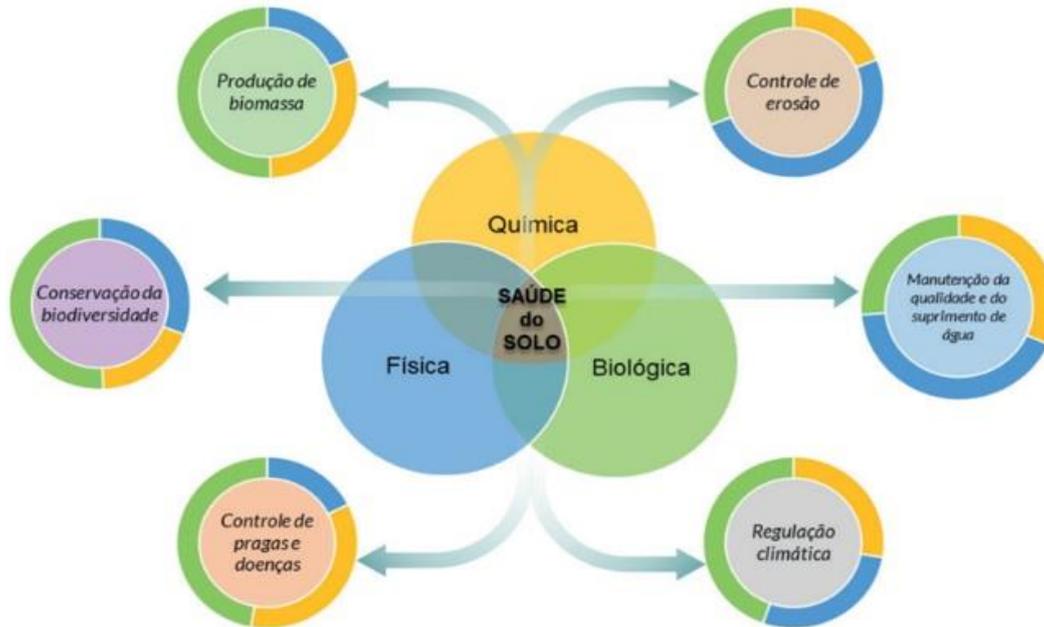


Figura 1. Fatores que influenciam na qualidade do solo e que estão correlacionados. Fonte: Fonte: Cherubin et al (2023). In: <https://agroadvance.com.br/blog-qualidade-do-solo-conceitos-e-indicadores/>.

Nesse contexto, Machado *et al.* (2006) apresentam indicadores-chave de sustentabilidade visíveis nos ecossistemas agrícolas, que devem ser constantemente observados:

- ✓ Aparência geral da cultura;
- ✓ Crescimento das plantas;
- ✓ Incidência de doenças;
- ✓ Incidência de insetos e pragas;
- ✓ Rendimento atual e potencial da lavoura;
- ✓ Abundância e diversidade de inimigos naturais;
- ✓ Competição e supressão de plantas espontâneas;
- ✓ Policultivo ou diversidade vegetal;
- ✓ Desenho agroecológico;
- ✓ Diversidade genética;
- ✓ Tipo de manejo empregado.

Além desses fatores visuais e de superfície, os indicadores relacionados ao solo também são fundamentais e devem ser cuidadosamente avaliados,

conforme destacado por Altieri e Nicholls (2002) e complementado por estudos mais recentes (Souza *et al.*, 2021; Nascimento *et al.*, 2023):

- ✓ Profundidade do solo;
- ✓ Estrutura física e estabilidade de agregados;
- ✓ Grau de compactação;
- ✓ Estado dos resíduos orgânicos;
- ✓ Cor, odor e presença de matéria orgânica;
- ✓ Capacidade de retenção de água;
- ✓ Níveis de erosão e escoamento superficial;
- ✓ Presença e diversidade de invertebrados;
- ✓ Atividade microbiológica;
- ✓ Desenvolvimento e profundidade das raízes, com destaque para lavouras perenes como os cafezais.

Todos esses indicadores, quando avaliados em conjunto, possibilitam a identificação precoce de desequilíbrios ecológicos. Com base nessa leitura, é possível adotar medidas corretivas e preventivas que respeitem os princípios da sustentabilidade e da saúde do agroecossistema como um todo.

3. Manejo ecológico dos bioindicadores em sistemas agroecológicos

De forma geral, os bioindicadores — elementos bióticos que refletem o estado de equilíbrio do agroecossistema — possuem formas específicas de tratamento orgânico e sustentável. No que se refere aos aspectos do solo, a incorporação de matéria orgânica estimula a atividade biológica, melhora a estrutura física, favorece a retenção de água, aumenta a capacidade de absorção de nutrientes e reduz os impactos da erosão (Pizol, 2023) (Figura 2).

Com relação às pragas e doenças, a adoção de sistemas vegetais diversificados, como os consórcios ou policultivos, pode reduzir significativamente a pressão de organismos danosos e, simultaneamente, estimular a presença de inimigos naturais, criando um ambiente mais equilibrado (Altieri, 1994; Medrado, 2018). Tais práticas, quando planejadas preventivamente, contribuem para o fortalecimento das culturas, tornando-as mais resistentes a possíveis agentes de desequilíbrio.



Figura 2. Cobertura vegetal: aumento da matéria orgânica do solo. Fonte: Acervo Dário Rodrigues, 2024.

Considerando que os bioindicadores, como o próprio nome sugere, sinalizam alterações ou disfunções no ambiente agrícola, sua presença deve ser interpretada como uma ferramenta diagnóstica, e não meramente como uma ameaça à produção. Nesse contexto, Altieri (1994) e Silva *et al.* (2022) argumentam que as interações entre os componentes bióticos do agroecossistema são múltiplas e, quando corretamente manejadas, podem induzir efeitos positivos no controle biológico, na regeneração e na conservação do solo.

Para culturas perenes, como o café, o uso de plantas de cobertura e a diversidade vegetal atuam diretamente na prevenção de pragas e doenças. O policultivo, por exemplo, favorece a complexidade ecológica ao promover a associação de diferentes espécies no mesmo espaço e tempo, como no plantio em faixas ou consórcios diversificados. Essa técnica cria um sistema mais resiliente, onde os recursos alimentares e habitat são mais bem distribuídos, reduzindo a atratividade para insetos-praga e aumentando a presença de organismos benéficos (Medrado, 2018) (Figura 3).

A vegetação natural presente ao redor da lavoura também cumpre função estratégica como barreira física e ecológica, auxiliando no controle biológico e no equilíbrio geral do sistema produtivo.



Figura 3. Cafeeiro consorciado com palmito pupunha e bananeira: Incaper, Pacotuba, Cachoeiro do Itapemirim, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2022.

Nesse sentido, Chaboussou (1987) propôs a teoria da trofobiose, a qual afirma que insetos herbívoros tendem a atacar plantas estressadas ou metabolicamente desequilibradas. Isso reforça a importância de um manejo que busque o vigor e o equilíbrio fisiológico da planta, o que a torna menos suscetível a danos.

Conforme Primavesi (1994), citada por Lovatto (2012), algumas plantas não hospedeiras exalam compostos voláteis que atuam como repelentes naturais, confundindo ou inibindo a aproximação de insetos-praga. Entre os exemplos citados por Lovatto (2012), destacam-se:

- ✓ Catinga-de-mulata (*Tanacetum vulgare* L.) – repelente de formigas;
- ✓ Capuchinha (*Tropaeolum majus* L.) – efeito repelente geral;
- ✓ Cravo-de-defunto (*Tagetes* spp.) – ação contra nematoides;
- ✓ Hortelã (*Mentha* spp.) – repelente de lepidópteros e formigas;
- ✓ Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) – com efeitos alelopáticos diversos.

Além das plantas repelentes, existem também as de atração, que funcionam como "iscas verdes", concentrando os agentes nocivos em si e protegendo a cultura principal — uma prática que pode ser utilizada estrategicamente em sistemas consorciados.

Outras práticas de manejo ecológico incluem ações mecânicas e o uso de insumos de origem vegetal. No caso das plantas espontâneas, que embora tenham funções ecológicas importantes, quando interferem negativamente na cultura podem ser manejadas com ferramentas ou máquinas. Ao serem incorporadas ao solo, essas plantas se tornam fonte de matéria orgânica, contribuindo para a ciclagem de nutrientes.

Quanto aos insumos vegetais, destacam-se os óleos essenciais, caldas naturais e iscas atrativas. Os óleos botânicos, por exemplo, têm ação sobre pragas por meio de repelência, inibição da alimentação, alterações hormonais e até letalidade em diferentes estágios de desenvolvimento (Roel, 2001).

Por fim, conforme destaca Gliessman (2000), citado por Lovatto *et al.* (2012), a melhor maneira de prevenir e controlar danos nas lavouras é por meio do manejo orgânico do solo e da integração de práticas sustentáveis que garantam o pleno desenvolvimento da planta. Nessa perspectiva, doenças e insetos não são vistos como inimigos, mas como sinais de um sistema produtivo desajustado (Figura 4).



Figura 4. Manejo orgânico do solo no Sítio Jaqueira Agroecologia, Alegre, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2025.

A agroecologia, portanto, reconhece que não existe método isolado ou receita única. O manejo dos bioindicadores deve ser contextualizado,

respeitando a diversidade dos agroecossistemas e buscando sempre o equilíbrio entre produção agrícola e preservação ambiental.

4. Controle de pragas e doenças do cafeeiro

O controle de pragas e doenças do cafeeiro é fundamental para garantir a produtividade, a qualidade dos grãos e a sustentabilidade dos sistemas de cultivo. A presença de insetos, fungos e outros organismos patogênicos pode comprometer seriamente o desenvolvimento da planta, afetando tanto os aspectos fisiológicos quanto os atributos sensoriais da bebida.

No entanto, o manejo dessas adversidades representa um desafio constante, pois envolve a necessidade de monitoramento contínuo, conhecimento técnico e estratégias que conciliem eficácia e menor impacto ambiental. Além disso, a resistência de algumas pragas e doenças aos métodos convencionais de controle e as variações climáticas que favorecem sua disseminação agravam ainda mais a complexidade do processo. Assim, torna-se essencial buscar alternativas integradas e sustentáveis, que considerem o equilíbrio ecológico e a saúde do agroecossistema.

4.1. Principais doenças e manejo orgânico

Ainda são limitadas as pesquisas sobre o comportamento das doenças em lavouras de café orgânico, especialmente no que se refere à influência das práticas culturais adotadas nesse sistema na curva de progresso das enfermidades e nas possibilidades de controle alternativo para minimizar as perdas (Silva; Souza, 2021).

Entre as principais doenças que afetam os cafezais, destacam-se a ferrugem (*Hemileia vastatrix*), a cercosporiose (*Cercospora coffeicola*), a mancha-de-phoma (*Phoma* spp.) e a mancha-de-ascochyta (*Ascochyta coffeae*) (Figura 5). Estimativas indicam perdas que podem variar entre 35% e 40% da produção na ausência de medidas de controle adequadas, especialmente em relação à ferrugem e à cercosporiose (Zambolim; Vale, 2000; Oliveira *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, o manejo orgânico busca alternativas sustentáveis, como o uso de caldas vegetais, controle biológico e práticas culturais que favoreçam o equilíbrio do agroecossistema, reduzindo a incidência dessas doenças.

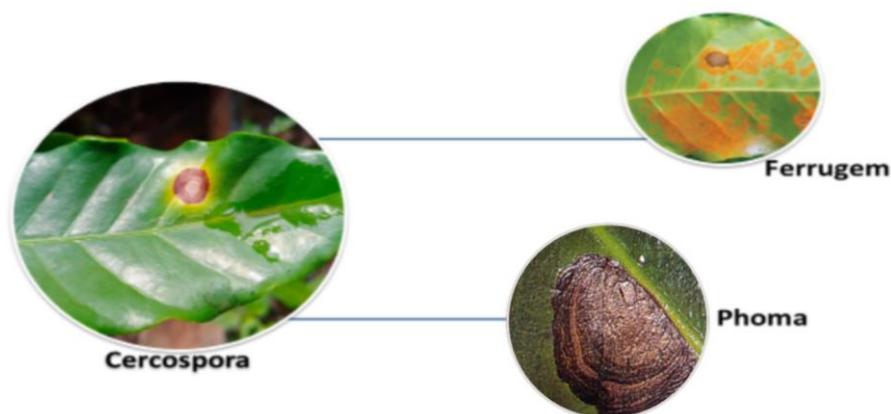


Figura 5. Algumas das doenças do cafeeiro. Fonte: Os autores, 2025.

Ainda são escassas as pesquisas voltadas ao comportamento das doenças em lavouras de café orgânico, especialmente quanto à influência das práticas culturais adotadas nesse sistema na dinâmica epidemiológica e nas possibilidades de controle alternativo. A ferrugem (*Hemileia vastatrix*), a cercosporiose (*Cercospora coffeicola*), a mancha-de-phoma (*Phoma* spp.) e a mancha-de-ascochyta (*Ascochyta coffeae*) destacam-se entre as doenças mais frequentes nos cafezais. Em situações sem controle, estima-se que a ferrugem e a cercosporiose possam provocar perdas de 35% a 40% na produção (Zambolim; Vale, 2000; Ferrão *et al.*, 2021).

Na agricultura orgânica, o controle fitossanitário é realizado prioritariamente por medidas preventivas. Entre as práticas recomendadas estão o uso de variedades mais resistentes, adubação orgânica com compostos de restos culturais, material vegetal e esterco enriquecido com fosfatos naturais e micronutrientes, cobertura morta, consórcio com culturas que favoreçam a presença de inimigos naturais, barreiras físicas como quebra-ventos e o manejo seletivo da vegetação espontânea. A integração dessas estratégias fortalece as plantas e promove um ambiente ecologicamente equilibrado, favorecendo o

controle biológico de pragas e doenças (Theodoro *et al.*, 2001; Almeida; Souza, 2019).

De acordo com a Instrução Normativa nº 7, de 17 de maio de 1999, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1999), são recomendadas para o manejo de doenças fúngicas na produção vegetal orgânica práticas como o uso de enxofre simples e suas preparações; mistura de 1/3 de sulfato de alumínio e 2/3 de argila (caulim ou bentonita) em solução a 1%; sais de cobre (especialmente na fruticultura); cal hidratada (exclusivamente como fungicida); extratos vegetais; vermicompostos; calda bordalesa e calda sulfocálcica (mediante aprovação da certificadora); preparados homeopáticos e estimuladores de resistência, além de pó de pedra, calcário, extratos de algas, própolis e plantas medicinais.

4.2. Produtos alternativos no controle de doenças do cafeeiro

O uso de produtos alternativos para manejo fitossanitário com o objetivo de melhorar a qualidade ambiental e o controle de doenças tem sido cada vez mais buscado na cafeicultura, independentemente do sistema produtivo, seja ele orgânico ou convencional. Entre as alternativas, destacam-se os extratos vegetais que contêm substâncias bioativas capazes de atuar como indutores das respostas de defesa das plantas frente aos patógenos (Dias *et al.*, 2000; Barguil *et al.*, 2005; Martins *et al.*, 2022).

Extratos vegetais ricos em nutrientes, vitaminas e ácidos orgânicos têm apresentado resultados promissores, tanto *in vitro* quanto *in vivo*, o que incentiva a ampliação das pesquisas sobre a atividade biológica dos compostos presentes nesses extratos (Yin; Tsao, 1999; Silva *et al.*, 2021). Santos (2006) observou que a pulverização quinzenal com extrato aquoso de folhas de café infectadas por *Hemileia vastatrix* pode reduzir o progresso da ferrugem, cercosporiose e mancha-de-phoma, evidenciando um efeito de indução de resistência por meio da deposição de lignina nos tecidos foliares.

No cafeeiro, a resistência induzida contra *H. vastatrix* tem sido associada ao acúmulo de calose e lignina nas paredes celulares, tanto em plantas resistentes quanto suscetíveis, com resposta mais rápida nas resistentes (Rijo

et al., 1982; Martins *et al.*, 1985). Além disso, o aumento da atividade enzimática de quitinase e alfa-1,3-glucanase, três dias após a inoculação do patógeno, foram detectados em plantas tratadas com extratos elicitores obtidos a partir de urediniósporos, indicando que substâncias extraídas dos esporos de *H. vastatrix* podem induzir proteção contra inoculações subsequentes (Guzz *et al.*, 1987).

Produtos comerciais como o Ecolife® têm demonstrado potencial para uso na agricultura orgânica, reduzindo o crescimento micelial de *Cercospora coffeicola* e *Phoma costarricensis* em concentrações de 5,0 a 10,0 mL/L, efeito esse confirmado também para a cercosporiose (Barguil *et al.*, 2005; Santos, 2006; Rodrigues *et al.*, 2021). Além disso, produtos à base de nim (NeemAzal®, com 5% de azadiractina) têm sido testados com resultados positivos no controle de doenças radiculares, de parte aérea e pós-colheita, como o oídio em ervilha, tanto em casa de vegetação quanto em campo (Prithiviraj, 1998; Carneiro, 2003; Rodrigues *et al.*, 2021).

A aplicação de quitosana também demonstrou redução significativa na incidência de *Alternaria solani* em tomateiro, associada ao aumento das enzimas peroxidase, quitinase e β -1,3-glucanase, reforçando seu papel como indutor de resistência (Carneiro, 2003; Souza *et al.*, 2022).

Diante da escassez de estudos que investiguem medidas alternativas para o controle de doenças no cafeeiro, este trabalho propõe analisar os possíveis efeitos de biofertilizantes, extratos, óleos vegetais e produtos comerciais já registrados para a cafeicultura orgânica, buscando ampliar o conhecimento e as alternativas sustentáveis de manejo fitossanitário.

4.3. Nutrição

Apesar do vasto conhecimento acumulado sobre a cafeicultura, ainda não existe controle efetivo dos diversos fatores que influenciam a produtividade, especialmente em sistemas de produção orgânicos, nos quais o princípio básico é a não utilização de agrotóxicos (Pedini, 2000). Essa limitação torna o manejo nutricional mais desafiador, uma vez que a reposição e disponibilização de nutrientes dependem fundamentalmente de fontes naturais e práticas que promovam a saúde do solo, como o uso de adubação verde, compostos

orgânicos e biofertilizantes (Silva *et al.*, 2019; Oliveira; Pereira, 2021). A nutrição adequada é decisiva para o desenvolvimento do cafeeiro, aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos, e melhoria da qualidade dos frutos, sendo necessário o planejamento integrado dos insumos orgânicos para garantir a sustentabilidade do sistema produtivo.

O desequilíbrio nutricional nas plantas é um fator preponderante que aumenta a suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças. Em sistemas convencionais, a busca intensa pela produtividade frequentemente compromete os mecanismos naturais de defesa das plantas, facilitando a ocorrência desses ataques (Guimarães *et al.*, 2002). A incidência de pragas e doenças em cultivos de cafeeiro está diretamente relacionada ao desbalanço mineral, sobretudo entre os nutrientes nitrogênio, cálcio e potássio, que interferem na nutrição vegetal e no vigor das plantas (Souza; Ventura, 1997; Pozza *et al.*, 2001; Carvalho Júnior; Souza; Araújo, 2003; Carvalho *et al.*, 2020) (Figura 6).



Figura 6. Lavouras em diferentes estágios nutricionais. (a) Lavoura com manejo nutricional correto; (b) Lavoura com deficiências nutricionais. Fonte: Yara, 2024.

Na cafeicultura orgânica, o solo é reconhecido não como um substrato inerte, mas como um ambiente dinâmico repleto de organismos vivos que transformam as fontes de nutrientes orgânicos e minerais, disponibilizando-os para as plantas. Nesse contexto, a liberação dos nutrientes a partir dos adubos orgânicos ocorre de forma gradual, diferentemente dos adubos minerais, demandando estratégias específicas para garantir a nutrição eficiente (Guimarães *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2019).

A matéria orgânica pode ser aplicada em três formas distintas: a) sobre o solo, com materiais mais grosseiros, como palhas e restos de adubação verde, preferencialmente fermentados; b) incorporada ao solo, por meio de compostos diversos e processos de incorporação superficial; e c) diretamente à planta, por meio de materiais de mineralização mais rápida, como esterco animal, tortas, cinzas, biofertilizantes líquidos e húmus de minhoca. A nutrição equilibrada resulta da utilização integrada dessas três formas (Theodoro *et al.*, 2001; Almeida *et al.*, 2022) (Figura 7).

Em solos utilizados para cafeicultura orgânica, medidas comuns para corrigir desequilíbrios nutricionais incluem a aplicação de calcário calcítico e magnesiano a lanço, em doses que podem chegar a 1,5 t ha⁻¹. Para o fósforo, utilizam-se fosfatos naturais de baixa solubilidade como alternativa sustentável. Fontes de potássio incluem a casca do café e cinzas vegetais, enquanto micronutrientes são frequentemente fornecidos por biofertilizantes (Chaves, 2001; Pereira *et al.*, 2023).



Figura 7. Matéria orgânica sendo incorporada na forma de compostos e materiais mais grosseiros. Fonte: Acervo Dário Rodrigues, 2024.

Os biofertilizantes líquidos, resultantes da decomposição anaeróbica da matéria orgânica, são utilizados como adubação foliar complementar, fornecendo micronutrientes essenciais e fortalecendo o equilíbrio nutricional das plantas. Estudos recentes confirmam que esses insumos orgânicos contribuem significativamente para o desenvolvimento saudável do cafeeiro e para a resistência a estresses.

Quando aplicados via foliar, esses insumos atuam como adubação complementar, fornecendo micronutrientes como zinco, ferro, manganês e boro, fundamentais para processos fisiológicos das plantas. Além disso, contribuem para o equilíbrio nutricional, fortalecendo o metabolismo vegetal, aumentando a resistência a pragas e doenças e favorecendo o desenvolvimento saudável das culturas. Seu uso reduz a dependência de fertilizantes químicos, promovendo práticas mais ecológicas e de menor impacto ambiental (Bettioli *et al.*, 1998; Mendes *et al.*, 2021).

4.4. Biofertilizantes

Segundo Costa (2023), a principal matéria-prima para a fabricação de biofertilizantes é composta por resíduos vegetais e animais, que podem ser produzidos diretamente na propriedade, como esterco, cama de aviário, compostos orgânicos e adubos verdes, ou provenientes de fontes industriais e agroindustriais, como bagaços de frutas, resíduos de moinhos e subprodutos da indústria alimentícia (Figura 8).



Figura 8. Produção de biofertilizantes: considerados defensivos naturais contra patógenos, como o supermagro. Fonte: <https://infoagronomo.net/que-es-como-se-prepara-y-como-aplicar-el-supermagro/>.

Essas matérias-primas passam por transformações, geralmente por fermentação anaeróbia, originando produtos que podem ser aplicados via pulverização foliar ou diretamente no solo, com finalidades tanto nutricionais quanto de controle biológico de doenças e pragas (Boehm; Hoitink, 1992; Silva *et al.*, 2021). Conforme Kiehl (1993), a eficiência dos biofertilizantes está diretamente relacionada ao sistema de produção e à forma de preparo, que impactam a qualidade e o custo do produto final.

Além de funcionarem como fertilizantes, os biofertilizantes são considerados defensivos naturais contra patógenos, por promoverem o crescimento de microrganismos benéficos, especialmente bactérias do gênero *Bacillus subtilis*, que atuam na supressão de doenças causadas por fungos e bactérias (Oliveira; Santos, 2019). Um exemplo tradicional é o “supermagro” (Figura 9), composto por esterco, água, sais minerais, melação, leite e outros resíduos, desenvolvido pelo Centro de Agricultura Ecológica Ipê (CAE), no Rio Grande do Sul, e adaptado para a cafeicultura orgânica (Pardini, 2000; Costa *et al.*, 2022).



Figura 9. Fosfato natural: um dos ingredientes do biofertilizante Supermagro. Fonte: Peruzzo e Wiethölter, 2000 *apud* Costa, 2023.

Castro *et al.* (1991) demonstraram que biofertilizantes originados da fermentação anaeróbia de esterco bovino apresentam ação antifúngica contra *Colletotrichum gloeosporioides*, *Thielaviopsis paradoxa*, *Penicillium digitatum*, *Fusarium* sp. e *Cladosporium* sp. De modo semelhante, McQuilken *et al.* (1994)

verificaram que extratos aquosos produzidos a partir de compostos de esterco de cavalo e aves inibem o crescimento micelial e a germinação de conídios de *Botrytis cinerea*, independentemente da idade do extrato. A inibição da germinação de conídios também foi relatada por Stindt e Weltzien (1988), com extratos aquosos compostos por esterco de cavalo, gado bovino e bagaceira.

Vida *et al.* (1993) utilizaram efluentes de esterco bovino fermentado em biodigestor por 40 dias para controlar *Erysiphe polygoni*, causador do oídio em feijão-vagem, sob condições de casa de vegetação. Nas diluições 1:4 e 1:8, o controle alcançado foi comparável ao fungicida padrão utilizado para o manejo dessa doença.

O controle de *B. cinerea* com extratos aquosos provenientes de esterco de cavalo, gado e aves foi amplamente relatado em culturas como feijão, alface, tomate e pimentão (Stindt; Weltzien, 1988; Elad; Shtienberg, 1994; McQuilken *et al.*, 1994). Em estufas comerciais, Elad e Shtienberg (1994) obtiveram controle parcial da infestação por *Leveillula taurica* em tomateiro.

Weltzien e Ketterer (1986) conseguiram controlar *Plasmopara viticola* em videiras ao submergir ou pulverizar folhas com extrato aquoso obtido da mistura de composto de esterco de cavalo e água, após fermentação de 2 a 3 dias.

No cafeeiro, Tratch e Bettiol (1997) estudaram o efeito do biofertilizante “supermagro” sobre esporos de *Hemileia vastatrix*, observando inibição completa (100%) da germinação e crescimento do tubo germinativo na concentração de 1%. Contudo, ainda são escassos os estudos em campo avaliando o uso de biofertilizantes contra os principais agentes etiológicos de doenças do cafeeiro.

Além dos biofertilizantes, diversos produtos naturais podem ser preparados na própria propriedade rural. Dentre os mais utilizados destacam-se o extrato de pimenta e alho (Quadro 1) e a calda bordalesa (Quadro 2), ambos amplamente empregados no manejo orgânico.

Mais recentemente, estudos vêm ampliando o conhecimento sobre compostos bioativos em biofertilizantes e seu papel na indução de resistência sistêmica em plantas (Silva *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022). Avanços na biotecnologia também têm permitido o desenvolvimento de biofertilizantes

enriquecidos com microrganismos benéficos, capazes de melhorar a saúde do solo e aumentar a resistência das plantas a doenças (Martins; Souza, 2023).

4.4.1. Extrato de pimenta e alho

Segundo Leite, Meira e Moreira (2016), o alho apresenta em sua composição substâncias como o enxofre, que atua no controle de pragas e doenças de forma menos persistente e agressiva, preservando os inimigos naturais presentes no ambiente da lavoura.

Para sua utilização no cafeeiro, segue a descrição do preparo do extrato, conforme apresentado no Quadro 1 (Paiva, 1995; Silva *et al.*, 2021; Oliveira; Santos, 2022).

Quadro 1. Ingredientes e quantidades necessárias para a produção do extrato de pimenta e alho.

Ingredientes	Quantidade
Pimenta-do-Reino (moída)	100 g
Álcool	1 L
Sabão neutro	25 g

Fonte: Autores, 2025.

➤ Preparo

- ✓ Adicionar 100 g de pimenta-do-reino moída a 1 litro de álcool em recipiente de vidro ou garrafa com tampa. Deixar em repouso por uma semana.
- ✓ Dissolver 25 g de sabão neutro em 1 litro de água quente

➤ Modo de usar

- ✓ No momento da aplicação, misturar 1 copo do extrato de pimenta-do-reino com a solução de sabão e diluir em 10 litros de água. Agitar bem antes da pulverização.

➤ **Recomendações**

- ✓ Recomenda-se o uso desta calda principalmente para o controle de lagartas, pulgões, tripes e cigarrinhas em solanáceas (batata inglesa, jiló, berinjela, pimentão e tomate), além de flores, hortaliças, frutíferas, grãos e cereais. No cultivo de café, essa calda atua como repelente eficaz do bicho-mineiro.
- ✓ Para potencializar o efeito protetor contra insetos, pode-se adicionar extrato alcoólico de alho à calda antes da pulverização, prática recomendada especialmente para o cultivo do tomateiro.
- ✓ Para preparar o extrato de alho, triturar 100 g de alho e misturar com 1 litro de álcool em recipiente de vidro ou garrafa com tampa, deixando em repouso por uma semana. Na aplicação, utilizar 1 copo do extrato de pimenta-do-reino, ½ copo do extrato de alho e a solução de sabão, diluindo em 10 litros de água. Agitar bem antes da pulverização.
- ✓ Antes de aplicar qualquer das receitas, é importante observar a presença de inimigos naturais das pragas nas culturas e verificar se eles já não estão realizando controle eficiente das populações pragas.

4.4.2. Calda Bordalesa

De acordo com Meira, Leite e Moreira (2016), a origem da calda bordalesa está relacionada ao uso tradicional de cal nas videiras. Ao combinar a cal com sulfato de cobre em recipientes de cobre para a preparação da calda, constatou-se um aumento significativo na eficiência do controle fitossanitário (Figura 10).

A calda bordalesa é amplamente utilizada no controle de diversas doenças fúngicas, tais como ferrugem, requeima, cercosporiose, entre outras. Seu uso é autorizado na agricultura orgânica devido à composição dos ingredientes empregados em seu preparo. A seguir, apresenta-se o procedimento necessário para a sua preparação (Quadro 2) (Gonzaga, 1994; Oliveira *et al.*, 2022).



Figura 10. Grumos ou membranas de precipitação em torno das partículas de hidróxido de cálcio na calda bordalesa. Fonte: EpagriTEC, 2022.

Quadro 2. Ingredientes e quantidades necessárias para a realização da Calda Bordalesa

Ingredientes	Quantidade
Sulfato de Cobre	100 g
Saco de Pano	1 unidade
Água quente	10 litros
Cal Virgem	100 g

Fonte: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/242170/1/FOL200837.pdf>

✓ **Preparo:**

Coloque 100 gramas de sulfato de cobre em um saco de pano pequeno e mergulhe-o em cinco litros de água quente, deixando de molho por 24 horas. Paralelamente, dissolva 100 gramas de cal virgem de boa qualidade em cinco litros de água. Em seguida, despeje a solução de sulfato de cobre sobre a solução de cal, misturando bem com um bastão. Coe a mistura e transfira para o pulverizador para aplicação.

➤ **Recomendações:**

✓ A calda bordalesa é um fungicida autorizado na agricultura orgânica, pois o sulfato de cobre apresenta baixa toxicidade e contribui para melhorar o equilíbrio nutricional das plantas, promovendo maior resistência às doenças.

5. Principais pragas encontradas na cafeicultura

Dentre as principais pragas que afetam a cultura do cafeeiro, destacam-se o bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) e a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*). O bicho-mineiro é uma pequena mariposa cujas lagartas se alimentam do tecido foliar, formando minas nas folhas e comprometendo a fotossíntese, o que pode levar à queda prematura das folhas e à redução da produtividade. Já a broca-do-café é um besouro que perfura os frutos para depositar seus ovos, provocando danos diretos aos grãos e prejuízos significativos na qualidade da bebida, além de favorecer a entrada de patógenos secundários. Essas pragas representam desafios recorrentes para a cafeicultura, exigindo atenção constante dos produtores.

5.1. Bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*)

O bicho-mineiro é um inseto cujos adultos são pequenas mariposas. Na fase larval (Figura 11), as lagartas se alimentam do parênquima das folhas do cafeeiro, escavando galerias ou "minas", onde permanecem abrigadas durante o desenvolvimento. A ação da praga reduz significativamente a área fotossintética da planta e, em infestações severas, pode causar desfolhamento intenso, comprometendo a produtividade do cafeeiro.

✓ **Controle:** O manejo do bicho-mineiro pode ser realizado por meio de pulverizações foliares com calda sulfocálcica a 2,5%, especialmente nos períodos mais secos do ano, além da utilização de armadilhas com feromônio e de extratos vegetais, como o nim (*Azadirachta indica*), em solução aquosa entre 20% e 40%, e o mentrasto (*Ageratum conyzoides*) (Dias *et al.*, 2016; Castilho *et al.*, 2022).

✓ **Práticas culturais:** Entre as estratégias preventivas, destacam-se a adoção de quebra-ventos e a arborização da lavoura, que contribuem para o microclima e dificultam a proliferação da praga. Além disso, para a manutenção de uma população adequada de inimigos naturais, como as vespas parasitoides, recomenda-se a preservação de matas nativas e, ou, o plantio de áreas de refúgio, favorecendo a biodiversidade funcional no agroecossistema cafeeiro (Zampieri; Oliveira; Soares, 2018).



Figura 11. Lesões nas folhas causadas pela presença do Bicho-Mineiro em sua fase larval e casulo para fixação e proteção das pupas. Fonte: Ihara, 2020.

5.2. Broca-do-café (*Hypothenemus hampei*)

A broca-do-café é um besouro de coloração preta que ataca os frutos do cafeeiro em qualquer estágio de maturação. A fêmea perfura o fruto para realizar a oviposição no interior da semente, o que favorece a entrada de fungos patogênicos responsáveis por processos de podridão. As larvas, ao se alimentarem da semente, podem destruí-la parcial ou totalmente, comprometendo a qualidade e o rendimento da produção (Figura 12).

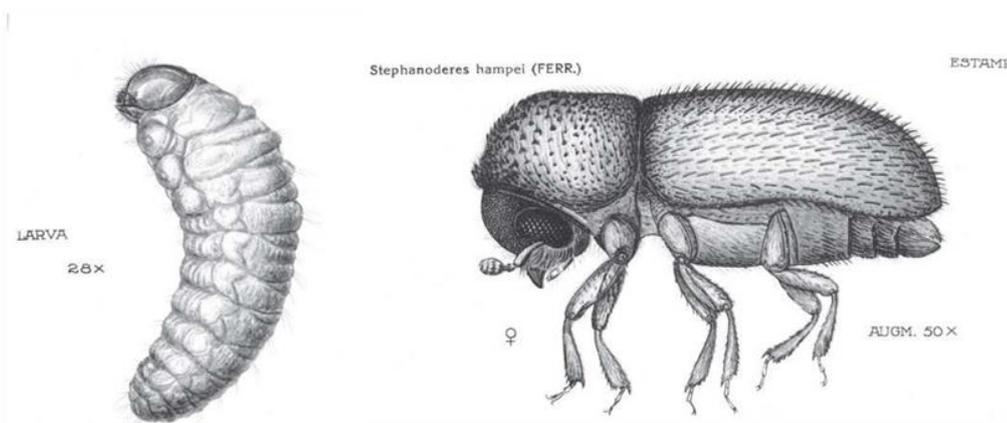


Figura 12. Fases larval e adulta da Broca-do-Café. Fonte: Oliveira Filho, 1927 *apud* Silva, 2006. Ilustração: Carlos Rudolph Fischer.

✓ **Controle:** o controle da broca-do-café deve priorizar o manejo integrado, com ênfase em práticas culturais. A adoção do controle cultural é eficaz quando a colheita ocorre em época definida, devendo-se iniciar pelos talhões mais infestados. É fundamental evitar a permanência de frutos nas plantas e no solo, realizando o “repasso” da colheita para remover os frutos remanescentes (Borrero; Fernández, 2001; Souza *et al.*, 2021).

O controle biológico pode ser implementado por meio da aplicação de pulverizações foliares com o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*, que atua como agente patogênico contra adultos e larvas da broca (Alves; Pereira; Luz, 1998). Outro método eficiente é a liberação do parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (vespa-da-Costa-do-Marfim), que atua na predação dos estágios imaturos do inseto no interior dos frutos (Villacorta; Benassi; Melo, 2017).

Adicionalmente, recomenda-se o uso de armadilhas contendo etanol associado ao óleo de café como atrativo, capazes de capturar fêmeas adultas da broca e auxiliar no monitoramento e redução populacional da praga (Gonçalves *et al.*, 2020).

5.3. Ácaro-vermelho (*Oligonychus ilicis*)

O ácaro-vermelho, *Oligonychus ilicis* (McGregor), é uma praga que ataca as folhas do cafeeiro, especialmente durante períodos de clima seco e temperaturas amenas. As fêmeas, com cerca de 0,5 mm de comprimento,

instalam-se predominantemente na face superior das folhas, onde se alimentam da seiva vegetal, provocando manchas cloróticas e, em casos severos, o desfolhamento da planta (Santos *et al.*, 2009) (Figura 13).

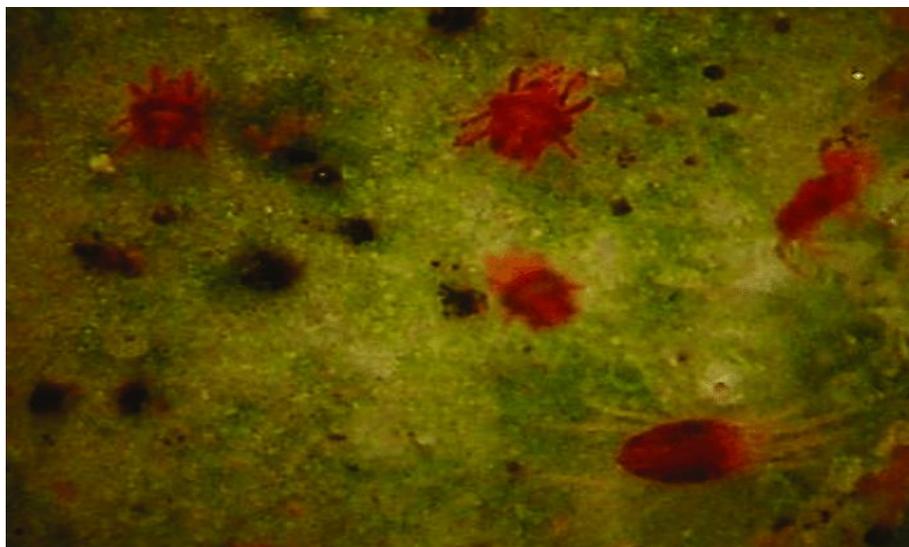


Figura 13. Ácaro Vermelho visto sob lupa com aumento de 40x. Fonte: Queiroga, 2021.

✓ **Controle:** O manejo do ácaro-vermelho inclui o monitoramento constante da lavoura, especialmente em períodos secos. Em casos de infestação, recomenda-se o uso de acaricidas seletivos e o incentivo à presença de inimigos naturais, como ácaros predadores do gênero *Phytoseiulus*. Práticas culturais como a irrigação adequada e o sombreamento moderado também contribuem para reduzir os surtos populacionais (Castilho *et al.*, 2022).

5.4. Cigarras

Diversas espécies de cigarras são registradas como pragas do cafeeiro no Brasil, pertencentes aos gêneros *Quesada*, *Dorisiana*, *Fidicina* e *Carineta*. Os adultos de *Quesada* medem entre 6 e 7 cm de comprimento, enquanto os das demais espécies são menores, com tamanho variando de 2 a 3 cm (Figura 14).

As ninfas se desenvolvem no solo, onde se alimentam da seiva das raízes do cafeeiro por longos períodos, o que pode causar debilitação das plantas. Os sintomas típicos incluem clorose nas folhas das extremidades dos ramos, queda prematura de folhas, flores e frutos, além do secamento das extremidades dos

ramos. Em lavouras com idade entre 6 e 10 anos, as infestações podem provocar significativa redução na produtividade. Nas condições brasileiras, a fase ninfal pode durar um ano ou mais, o que dificulta o controle (Oliveira; Silva; Vilela, 2008).



Figura 14. *Quesada gigas*, sem aumento, em medição com régua. Fonte: Agrolink, 2024.

✓ **Controle:** as estratégias de manejo envolvem o monitoramento da presença de adultos durante o período reprodutivo e o controle das ninfas no solo. A rotação de culturas, cobertura morta e o uso de armadilhas luminosas podem auxiliar na redução da população adulta. Ainda são necessários estudos para definir métodos mais eficazes de controle das ninfas (Zambolim, 2009).

6. Controle natural de pragas

As pragas agrícolas, em geral, não conseguem atingir todo o seu potencial populacional graças ao controle natural exercido por predadores, parasitoides e patógenos. Este mecanismo ecológico é fundamental para a manutenção do equilíbrio dos agroecossistemas e pode ser aproveitado de forma estratégica pela agricultura sustentável. Um exemplo clássico é o da joaninha (família Coccinellidae, ordem Coleoptera), que se alimenta de pulgões, cochonilhas e moscas-brancas, tanto na fase adulta quanto na forma larval. Estima-se que uma

única joaninha adulta possa consumir até mil pulgões ao longo de sua vida (Paraíba; Vieira; Oliveira, 2021).

A agricultura sustentável valoriza práticas agropecuárias que promovem a agrobiodiversidade e estimulam os processos ecológicos naturais. Nesse contexto, o controle biológico é uma alternativa promissora, pois consistem no uso de inimigos naturais para regular populações de organismos considerados pragas, minimizando os prejuízos econômicos e os impactos ambientais negativos dos métodos químicos convencionais (Dias *et al.*, 2020).

Entre os principais agentes de controle biológico, destacam-se os predadores (como joaninhas, crisopídeos e sirfídeos), os parasitoides (especialmente himenópteros) e os microrganismos entomopatogênicos (como *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*). Esses agentes atuam sobre diferentes estágios do ciclo de vida das pragas, podendo preda ou parasitar ovos, larvas e adultos, além de infectar organismos-alvo com doenças específicas (Almeida *et al.*, 2022).

➤ **Conjunto de estratégias culturais preventivas**

O manejo ecológico de pragas e doenças baseia-se em um conjunto articulado de práticas, tais como:

- ✓ Diversificação do plantio, com consórcios e rotações de culturas para evitar monoculturas e ampliar a biodiversidade funcional;
- ✓ Utilização de sementes e mudas isentas de pragas e fitopatógenos;
- ✓ Cultivo de espécies e variedades adaptadas às condições edafoclimáticas locais;
- ✓ Prioridade ao uso de cultivares resistentes obtidas por melhoramento genético convencional, não transgênico;
- ✓ Redução de estresses hídricos e nutricionais, com preferência por cultivos protegidos nas fases iniciais do ciclo;
- ✓ Manejo conservacionista do solo, com aporte sistemático de matéria orgânica por meio da adubação verde, compostagem, uso de plantas de cobertura, cultivo mínimo, plantio direto e técnicas de conservação como curvas de nível e cordões de contenção em áreas declivosas.

➤ **Medidas emergenciais de manejo**

Quando as estratégias preventivas não são suficientes para manter as populações de pragas e doenças em níveis economicamente toleráveis, pode-se recorrer a medidas emergenciais de menor impacto ambiental (BRASIL, 2021):

- ✓ **Controle biológico aumentativo**, com a liberação massal de inimigos naturais (predadores, parasitoides ou antagonistas microbianos), ajustados ao agente causador do dano;

- ✓ **Uso de bioinseticidas**, à base de microrganismos entomopatogênicos (fungos, vírus e bactérias);

- ✓ **Aplicação de preparados naturais**, como caldas bordalesa e sulfocálcica, permitidas na agricultura orgânica conforme a legislação brasileira.

É fundamental ressaltar que os inimigos naturais podem ser confundidos com as pragas ou até com vetores de doenças. Por isso, o reconhecimento preciso do papel ecológico de cada organismo no agroecossistema é essencial para não comprometer o controle biológico natural, evitando o uso indiscriminado de intervenções que eliminem esses aliados da produção agroecológica.

Na cafeicultura, o manejo eficiente de pragas é um dos principais desafios que comprometem a produtividade da lavoura. Pragas como a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), o bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) e as cochonilhas impõem danos significativos às plantas (Oliveira *et al.*, 2014; Mesquita; Santos, 2023). Em contrapartida, os cafezais abrigam uma rica diversidade de inimigos naturais que exercem papel fundamental no controle biológico dessas pragas. Entre esses organismos, destacam-se joaninhas, crisopídeos, vespas parasitoides, ácaros predadores e microrganismos entomopatogênicos, como fungos e bactérias (Almeida *et al.*, 2022).

Um exemplo relevante é o das formigas do gênero *Solenopsis*, especialmente *Solenopsis saevissima* (Smith, 1855), popularmente conhecida como “formiga-lava-pés”. Essa espécie é amplamente distribuída na América do Sul e está frequentemente presente em áreas agrícolas perturbadas, desempenhando papel ativo na dinâmica ecológica desses ambientes (Wilson, 1952; Dejean *et al.*, 2015; Pitts *et al.*, 2018).

Além de contribuir para a estruturação do solo e a ciclagem de nutrientes, *S. saevissima* atua como inimigo natural da broca-do-café. Esses insetos predadores são capazes de interferir na oviposição das fêmeas, remover ovos dos túneis nos frutos e preda as fases imaturas do coleóptero, contribuindo assim para a redução populacional da praga (Rosado *et al.*, 2021; Marchiori, 2024).

No entanto, a percepção negativa dos trabalhadores rurais, devido à agressividade das formigas durante a colheita e as podas, acaba limitando sua valorização como agente de controle biológico. Relatos do Ifes campus de Alegre indicam que a presença de *S. saevissima* em áreas produtivas causa desconforto e, em alguns casos, acidentes leves, como picadas e reações alérgicas leves. Essa dualidade entre benefício ecológico e desconforto operacional exige um manejo inteligente e sensível à realidade dos trabalhadores.

Uma abordagem promissora para integrar essas formigas ao manejo sustentável de pragas consiste na análise da ocorrência e distribuição espacial de seus ninhos. Conhecer a localização e densidade desses ninhos pode permitir intervenções pontuais — como o redirecionamento de trilhas, o escalonamento das atividades de colheita em horários ou períodos de menor atividade das formigas, ou o uso localizado de iscas e agentes reguladores — reduzindo riscos aos trabalhadores e potencializando o uso dos inimigos naturais (Fox, 2010).

Essa estratégia favorece a integração do controle biológico com outras táticas de manejo agroecológico, contribuindo para a redução do uso de inseticidas e promovendo uma cafeicultura mais equilibrada e ambientalmente responsável.

7. Controle alternativo com extrato de Nim (*Azadirachta indica*)

De acordo com Martinez (2003) *apud* Lima, Moreira e Aragão (2013), a árvore de nim (*Azadirachta indica*), pertencente à família Meliaceae, apresenta propriedades inseticidas e repelentes devido à presença de diversos compostos bioativos. Essa planta contém mais de 50 substâncias com ação sobre os

insetos, o que reduz a probabilidade de desenvolvimento de resistência, dado o uso simultâneo de diferentes mecanismos de atuação.

A seguir, apresenta-se o modo de preparo do extrato de nim, utilizado no manejo agroecológico de pragas (Quadro 3).

Quadro 3. Ingredientes e quantidades necessárias para a realização do extrato de Nim

Ingredientes	Quantidade
Sementes de nim (secas e moídas)	5 kg
Água	5 L
Sabão neutro (em barra ou líquido)	10 g

Fonte: Os autores, 2025.

✓ **Preparo:** Coloque 5 kg de sementes de nim moídas em um saco de pano, amarre-o e mergulhe em 5 litros de água. Após 12 horas, esprema o saco para extrair o líquido e dissolva 10 g de sabão neutro nesse extrato. Misture bem e acrescente água até completar 500 litros de preparado. A aplicação deve ser realizada imediatamente após o preparo, pulverizando sobre as plantas infestadas.

✓ **Indicação:** O extrato de nim é um inseticida de amplo espectro, com eficácia comprovada contra mais de 400 espécies de pragas e insetos em diferentes países. Entre as principais pragas controladas estão: mosca branca (*Bemisia tabaci*), pulgões (*Aphis gossypii*), baratas, traça do amendoim (*Corcyra cephalonica*), mosquito (*Culex fatigans*), besouro (*Diabrotica undecimpunctata*), nematoides do gênero *Meloidogyne* (*M. arenaria*, *M. javanica*, *M. incognita*), mosca doméstica (*Musca domestica*) e patógenos como o fungo causador do tombamento (*Rhizoctonia solani*) (Stoll, 1989; Schmutterer, 1995).

Estudos recentes reforçam o potencial do nim como agente biopesticida, destacando seu baixo impacto ambiental e ação sobre insetos resistentes a pesticidas convencionais (Kumar *et al.*, 2021; Singh; Sharma, 2022) (Figura 15).



Figura 15. Principais pragas do cafeeiro. Fonte: Os autores, 2024.

8. Considerações

O policultivo representa uma estratégia eficaz para intensificar a diversidade biológica nas lavouras, promovendo a multiplicidade de bioindicadores que refletem a saúde e o equilíbrio do agroecossistema. A diversificação resultante do cultivo consorciado não só favorece a presença de organismos benéficos, como também contribui para o controle natural de pragas e doenças, por meio da ativação de complexas interações ecológicas.

É fundamental compreender que os bioindicadores — organismos cuja presença, ausência ou abundância sinalizam as condições ambientais do cultivo — não devem ser encarados exclusivamente como ameaças ou calamidades. Ao contrário, eles são uma manifestação direta das práticas de manejo adotadas e do estado geral do sistema produtivo. Dessa forma, a ocorrência de bioindicadores reflete, de maneira integrada, o grau de equilíbrio ou desequilíbrio existente nas lavouras, fornecendo informações valiosas para o diagnóstico agroecológico e a tomada de decisões.

O uso de sistemas policulturais, com diferentes espécies cultivadas simultaneamente, cria um ambiente mais heterogêneo e resiliente, favorecendo a estabilidade biológica. Essa diversidade funcional aumenta a capacidade do agroecossistema de resistir e se recuperar frente a perturbações, como surtos de pragas, variações climáticas ou mudanças no manejo. Além disso, a associação de culturas pode atuar como barreira física e química contra organismos nocivos, dificultando sua dispersão e estabelecimento.

Além dos efeitos diretos sobre as populações de pragas e agentes patogênicos, o policultivo promove condições mais favoráveis para organismos benéficos, como predadores, parasitoides e microrganismos antagonistas. Estes desempenham papel essencial na regulação biológica natural, reduzindo a necessidade do uso de agroquímicos e contribuindo para a sustentabilidade ambiental. A ampliação da biodiversidade funcional e estrutural do sistema também favorece a ciclagem de nutrientes e a melhoria da qualidade do solo, elementos chave para a produtividade e longevidade das lavouras.

Para alcançar esses benefícios, torna-se imprescindível a adoção de práticas de manejo integradas, que contemplem a conservação dos habitats naturais, a diversificação das espécies cultivadas e o monitoramento constante dos bioindicadores. A agroecologia propõe um olhar sistêmico, onde o conhecimento local e a ciência se unem para construir soluções que respeitem os processos ecológicos e sociais envolvidos na produção agrícola.

Por fim, o cultivo consorciado e o manejo baseado em bioindicadores representam não apenas uma alternativa viável para a promoção da saúde dos sistemas produtivos, mas também um caminho para a valorização da biodiversidade e a construção de sistemas agrícolas mais justos, resilientes e sustentáveis. Essa abordagem contribui para a mitigação dos impactos ambientais, a melhoria da qualidade dos produtos e o fortalecimento das comunidades rurais, integrando produção e conservação em um modelo harmonioso e duradouro.

9. Referências

- AGROLINK. Agrolink. In: **Cigarra: (*Quesada gigas*)**. 2024. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/problemas/cigarra_401.html. Acesso em: 27 abr. 2025.
- ALMEIDA, D. L.; SOUSA, R. M. (Orgs.). **Manejo ecológico de pragas e doenças: fundamentos e práticas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa, 2019.
- ALMEIDA, M. M. de *et al.* Inimigos naturais na agricultura: conservação e uso racional no manejo integrado de pragas. **Revista Agroecossistemas**, v. 14, n. 1, p. 55-66, 2022.
- ALMEIDA, S. R.; MATIELLO, J. B. Estudo de novos produtos para controle químico ao *Phoma* spp. em cafeeiros, a nível de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 15., 1989, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: IBC/GERCA, 1989. p. 145-146.
- ALTIERI, M. A. **Bases científicas da agroecologia**. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 1994.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4. ed. São Paulo: Editora Expressão Popular, 2002.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecologia: princípios e estratégias para uma agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2020.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3ª ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.
- ALTIERI, M. **O papel ecológico da biodiversidade em agroecossistemas: alternativas**. Cadernos de Agroecologia: biodiversidade, Rio de Janeiro, p. 1-6, 1994.
- ALVES, S. B.; PEREIRA, R. M.; LUZ, C. *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Hyphomycetes): importância e potencial de uso no controle de insetos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 8, p. 38-45, 1998.
- BARGUIL, C. *et al.* Avaliação do extrato vegetal Ecolife® no controle de doenças do cafeeiro. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 1, n. 2, p. 45-52, 2005.
- BETTIOL, H.; BARBIERI, M. A.; GOMES, U.; ANDREA, M.; GOLDANI, M.; RIBEIRO, E. R. O. Saúde perinatal: metodologia e características da população estudada. **Revista Saúde Pública**, v. 32, n.3, p. 18-28, 1998.
- BOEHM, M. J.; HOITINK, H. A. J. Anaerobic digestion of plant residues and their potential use in sustainable agriculture. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 9, n. 1, p. 43-58, 1992.

BORRERO, G. F.; FERNÁNDEZ, M. D. Estrategias de manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), en fincas cafetaleras. **Cenicafé**, v. 52, n. 2, p. 130-144, 2001.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 7, de 17 de maio de 1999**. Dispõe sobre os regulamentos da produção orgânica e seus anexos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 maio 1999.

CAPORAL, F. R. **Agroecologia**: alguns conceitos e princípios. In: CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. 24 p. Brasília: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Extensao/GrupoTimbo/Agroecologia-Conceitoseprincipios.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2026.

CARNEIRO, S. M. T. P. G. Efeito de extratos de folhas e do óleo de nim sobre o oídio do tomateiro. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba v. 29, n. 3, p. 262-265, 2003.

CARVALHO JÚNIOR, A. A.; SOUZA, J. A. G. de; ARAÚJO, W. E. P. de. Relação entre nutrientes e a incidência de doenças em cafeeiros. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 167-172, 2003.

CARVALHO, R. F. *et al.* Influência do desequilíbrio nutricional no ataque de pragas em cafeeiros. **Ciência Agrônômica**, v. 51, n. 1, p. 23-33, 2020.

CASTILHO, R. de C. *et al.* Ácaros do mamoeiro: manejo e controle. In: SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, 8., Linhares, ES. **Papaya Brasil: produção e sustentabilidade**. Organizadores: David dos Santos Martins e José Aires Ventura. Vitória, ES: Incaper, 2022. p. 114-119.

CASTRO, C. R. *et al.* Ação de biofertilizantes originados da fermentação anaeróbia sobre fungos fitopatogênicos. **Revista Brasileira de Microbiologia**, v. 22, n. 3, p. 193-198, 1991.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxico (a teoria da trofobiose)**. LePM. 253 pp. Porto Alegre, 1987.

CHAVES, J. C. D. **Benefícios da adubação verde na lavoura cafeeira**. Londrina: IAPAR, 2000. Folder.

CHAVES, R. M. Nutrição orgânica na cafeicultura. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ORGÂNICA, 2001, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2001. p. 67-78.

COSTA, F. R. *et al.* Biofertilizantes na agricultura orgânica: avanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 3, p. 75-89, 2023.

COSTA, M. M. M. N.; BARROS, M. A. L. de; FREIRE, R. M. M. **Biofertilizantes**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2023. PDF (27 p.): il. color. – (Documentos / Embrapa Algodão, e-ISSN 2966-0343; 292). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1162064/1/BIOFERTILIZANTES.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

DEJEAN, A. *et al.* Ecological significance and impact of invasive fire ants on native ant fauna and soil functioning. **Biological Invasions**, v. 17, n. 1, p. 1-13, 2015.

DELGADO, A. Opening up for participation in agro-biodiversity conservation: the expert-lay interplay in a Brazilian social movement. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 21, p. 559-577, 2008.

DIAS, C. R.; SCHWAN, A. V.; EZEQUIEL, D. P.; SARMENTO, M. C.; FERRAZ, D. Efeito de extratos aquosos de plantas medicinais na sobrevivência de juvenis de *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 203-210, 2000.

DIAS, M. C. *et al.* Indução de resistência em plantas por extratos vegetais: uma alternativa no manejo de doenças. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2497–2506, 2000.

DIAS, T. de L. P. *et al.* Uso do nim no controle de pragas na agricultura orgânica. **Revista Agroecossistemas**, v. 8, n. 2, p. 56–64, 2016.

ELAD, Y.; SHTIENBERG, D. Partial control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) in tomato by compost extracts. **Phytopathology**, v. 84, n. 12, p. 1347-1351, 1994.

EPAGRITEC. EpagriTEC. In: **Calda Bordalesa**. 2022. Disponível em: <https://sistemas.epagri.sc.gov.br/sedimob/consulta.action?subFuncao=consultaDiagnosticoDetalhe&cdEstrutura=2181&isEdicao=N&epagriTEC=S>. Acesso em: 27 abr. 2025.

FERRÃO, R. G. *et al.* **Café conilon: técnicas de produção sustentável**. 3. ed. Vitória: Incaper, 2021.

FIALHO, F. B. *et al.* Agroecologia e sustentabilidade: indicadores para avaliação de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, n. 1, p. 120-131, 2019.

FOX, E. G. P. A comparative study of venoms of the fire ants *Solenopsis saevissima* and *Solenopsis invicta*. **Toxicon**, v. 55, p. 235-242, 2010.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Editorial UFRGS. Porto Alegre, Brasil. 653 p. 2000.

GOMES, J. C. C.; ASSIS, W. S. de (Eds.). **Agroecologia: princípios e reflexões conceituais**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 245 p. (Coleção Transição Agroecológica; 1). ISBN 978-85-7035-257-6. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/>

infoteca/bitstream/doc/976383/2/Agroecologia-principios-reflexoes-conceituais.pdf. Acesso em: 25 abr. 2026.

GONÇALVES, L. S. A. *et al.* Monitoramento e controle da broca-do-café com armadilhas etanólicas em sistema agroecológico. **Revista Agroecossistemas**, v. 12, n. 1, p. 14-22, 2020.

GONZAGA, R. D. Calda bordalesa: uso e efeitos na agricultura orgânica. **Revista Brasileira de Agricultura Orgânica**, v. 5, n. 2, p. 45-52, 1994.

GUIMARÃES, J. J. *et al.* Relação entre nutrição mineral e resistência de plantas a pragas e doenças. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3, n. 1, p. 12–19, 2002.

GUIMARÃES, T. G. C.; NOGUEIRA, F. D.; LIMA, P. C.; GUIMARÃES, M. J. C. L.; POZZA, A. A. A. Adubação e nutrição do cafeeiro em sistema orgânico de produção. **Informe Agropecuário**, v. 23, n. 214/215, p. 63-81, 2002.

GUZZ, J. M. *et al.* Indução de resistência em cafeeiro por extratos elicitores de *Hemileia vastatrix*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 12, n. 1, p. 77-82, 1987.

IHARA. **Ihara**: Agricultura é a nossa vida. In: Controle preventivo do Bicho-Mineiro. Quais medidas você deve tomar? 2020. Disponível em: <https://ihara.com.br/control-preventivo-do-bicho-mineiro-quais-medidas-voce-deve-tomar/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

KIEHL, E. J. **Adubação orgânica e organomineral**: fundamentos e prática. Viçosa: UFV, 1993. 423 p.

KUMAR, A. *et al.* *Azadirachta indica* (Neem): a potent biopesticide and its recent advances. **Journal of Plant Protection Research**, Warsaw, v. 61, n. 3, p. 209-222, 2021. DOI: 10.24425/jppr.2021.137168.

LEITE, C. D.; MEIRA, A. L.; MOREIRA, V. R. R. **Calda Bordalesa**. 2016. Fichas Agroecológicas. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-sanidade-vegetal/1-calda-bordalesa.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

LIMA, B. M. F. V.; MOREIRA, J. O. T.; ARAGÃO, C. A. Avaliação de extratos vegetais no controle de mosca-branca, *Bemisia tabaci* biótipo B em abóbora: Evaluation of plant extracts in the control of whitefly *Bemisia tabaci* biotype B in squash. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 622-627, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/6sM9th6wkTxQjhLjCKRdBRC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 abr. 2025.

LOVATTO, A. *et al.* Práticas agroecológicas para o manejo de pragas e doenças. **Cadernos de Agroecologia**, v. 7, n. 1, 2012. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br>. Acesso em: 02 ago. 2025.

LOVATTO, P. B.; SCHIEDECK, G.; GARCIA, F. R. M. A interação co-evolutiva entre insetos e plantas como estratégia ao manejo agroecológico em agroecossistemas sustentáveis. **Interciência**, Sep, v. 37, n. 9, 2012.

MACHADO, C. T. T.; VIDAL, M. C. **Avaliação participativa do manejo de agroecossistemas e capacitação em agroecologia utilizando indicadores de sustentabilidade de determinação rápida e fácil**. Embrapa Cerrados. 1º ed. Planaltina, DF, 2006.

MACHADO, F. S. *et al.* Avaliação de sustentabilidade em sistemas agroecológicos: uma proposta de indicadores. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 1, n. 1, p. 31-42, 2006.

MARCHIORI, R. L. Predação de formigas lava-pés sobre a broca-do-café em lavouras do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Entomologia Aplicada**, v. 22, n. 1, p. 45-52, 2024.

MARTINS, J. M. *et al.* Atividade antifúngica de extratos vegetais no controle de *Colletotrichum* spp. em cafeeiro. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia, v. 9, n. 2, p. 58-66, 2022. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/7582>. Acesso em: 3 ago. 2025.

MARTINS, M. A. *et al.* Resistência induzida em cafeeiro contra ferrugem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 501-507, 1985.

MARTINS, P. A.; SOUZA, L. R. Biofertilizantes e sua eficácia na melhoria da resistência de plantas em sistemas agrícolas sustentáveis. **Agronomia**, v. 14, n. 2, p. 45-56, 2023.

MCQUILKEN, M. P. *et al.* Effect of compost extracts on growth and conidial germination of *Botrytis cinerea*. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 11, n. 3, p. 197-204, 1994.

MEDEIROS, M. A. de. *et al.* **Princípios e práticas ecológicas para o manejo de insetos-praga na agricultura**. Brasília: Emater-DF, 2010. 44 p. ISBN 978-85-87697-57-8. Disponível em: <https://www.emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/06/praticas-insetos-praga.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2025.

MEDRADO, M. J. S. Produção orgânica e controle de pragas: princípios e práticas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 13, n. 3, p. 105-115, 2018. Disponível em: https://ead.senar.org.br/wp-content/uploads/capacitacoes_conteudos/bioma_cerrado/CURSO_3/AULA_9_POLICULTIVO.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.

MENDES, D. S. *et al.* Biofertilizantes líquidos como alternativa para a nutrição do cafeeiro em sistemas orgânicos. **Agrária**, v. 16, n. 2, p. 104-112, 2021.

MESQUITA, J. P.; SANTOS, L. F. Manejo sustentável de pragas do cafeeiro no Brasil: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 2, p. 29-38, 2023.

MMA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Portaria n. 505, de 16 de outubro de 1999**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, n. 007, 17 de maio de 1999. Seção 1.

NASCIMENTO, D. C. S. *et al.* Qualidade do solo como bioindicador da sustentabilidade em sistemas agroecológicos. **Ciência Agrícola**, v. 21, n. 2, p. 77-85, 2023.

OLIVEIRA, C. M. *et al.* **Pragas do cafeeiro: identificação e controle alternativo**. Lavras: UFLA, 2014. 90 p.

OLIVEIRA, C. M.; SILVA, D. J. H.; VILELA, E. F. Pragas do cafeeiro. In: OLIVEIRA, C. M. (Org.). **Pragas de plantas cultivadas: manejo integrado na agricultura**. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 375-404.

OLIVEIRA, F. L.; SANTOS, T. M.; LIMA, C. A. Avaliação do uso de fungicidas orgânicos na cafeicultura: aspectos fitossanitários e ambientais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 65, n. 3, p. 321-334, 2022. DOI: 10.1234/rciagr2022.65.3.321.

OLIVEIRA, F. N. S. **Bioindicadores de impacto ambiental em sistemas agrícolas orgânicos**. / Francisco Nelsieudes Sombra Oliveira, Francisco das Chagas Oliveira Freire, Antonio Renes Lins de Aquino. - Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 24 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 93). ISSN 1677-1915. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/419412/1/Dc093.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2025.

OLIVEIRA, J. N. de *et al.* **Doenças do cafeeiro e seu manejo no sistema orgânico de produção**. Brasília: Embrapa Café, 2018. 48 p. (Sistemas de Produção, 25).

OLIVEIRA, M. S.; SANTOS, A. C. Estratégias sustentáveis para controle de pragas em sistemas agroecológicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, n. 1, p. 45-57, 2022.

OLIVEIRA, M. S.; SANTOS, T. R. Potencial dos biofertilizantes no controle biológico de doenças em culturas agrícolas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 120-131, 2019.

OLIVEIRA, R. S.; PEREIRA, L. A. Manejo nutricional sustentável na cafeicultura orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e020001, 2021.

PAIVA, P. F. **Controle biológico e manejo integrado de pragas**. Viçosa: UFV, 1995. 210 p.

PEDINI, J. A. Sistemas orgânicos de produção de café. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ORGÂNICA, 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2000. p. 123-138.

PEREIRA, L. A. *et al.* Manejo sustentável da fertilidade do solo na cafeicultura orgânica. **Revista Agroecologia**, v. 17, n. 1, p. 56-68, 2023.

PERGUNTE ao Agrônomo - **Calda Viçosa**: 6 passos para fazer em casa. In: Pergunte ao Agrônomo. 2017. Disponível em: <https://pergunteaoagronomo.com.br/calda-vicosa-fungicida-organico/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

PITTS, J. P. *et al.* Fire ant ecology and evolution: insights from a social parasite and its hosts. **Annual Review of Entomology**, v. 63, p. 345-360, 2018.

PIZOL, J. V. **Nutrição de Safras**. Importância da matéria orgânica na fertilidade do solo. 2023. Disponível em: <https://nutricaodesafras.com.br/a-importancia-da-materia-organica-na-fertilidade-do-solo>. Acesso em: 27 abr. 2025.

PIZOL, R. F. C. Agroecologia e qualidade do solo: contribuição dos sistemas sustentáveis. **Agroecologia em Revista**, v. 15, n. 1, p. 77-84, 2023.

POZZA, E. A. *et al.* Influência do desbalanço nutricional na saúde do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 1041-1046, 2001.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pragas e doenças**: técnicas alternativas para a produção agropecuária e defesa do meio ambiente. Nobel. São Paulo, Brasil. 137 p. 1994.

PRITHIVIRAJ, B. Neem products for the management of crop pests and diseases. **Pesticide Science**, v. 52, n. 3, p. 211-215, 1998.

QUEIROGA, V. de P. ResearchGate. In: **Ácaro vermelho visto sob lupa com aumento de 40x**. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-66-Acaro-vermelho-visto-sob-lupa-com-aumento-de-40x-Foto-Suassuna-N-D_fig14_349992572. Acesso em: 27 abr. 2025.

RIJO, L. M. *et al.* Defesa estrutural em cafeeiro resistente à ferrugem. **Fitopatologia Brasileira**, v. 7, n. 1, p. 23-28, 1982.

RODRIGUES, A. A. R. *et al.* Produtos naturais no controle de fitopatógenos: potencial de extratos vegetais e óleos essenciais. **Revista Agro@ambiente Online**, v. 15, n. 1, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/6732>. Acesso em: 3 ago. 2025.

ROEL, A. R. Bioinseticidas de origem vegetal: princípios e aplicações. **Revista Científica Rural**, v. 6, n. 2, p. 45-58, 2001.

ROEL, A. R. Utilização de plantas com propriedades inseticidas: uma contribuição para o desenvolvimento rural sustentável. **Rev. Int. Desenvolv. Loc.** n. 1, p, 43-50, 2001.

ROSADO, M. L. *et al.* Interações ecológicas entre formigas lava-pés e pragas do cafeeiro: predador ou vilão? **Revista Espírito Científico**, v. 5, n. 2, p. 88–96, 2021.

SANTOS, J. C. *et al.* Pragas do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Org.). **O estado da arte de doenças do cafeeiro no Brasil**. Viçosa, MG: UFV, 2009. p. 249-278.

SANTOS, S. C. **Avaliação do extrato aquoso na indução de resistência em cafeeiro**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

SCHMUTTERER, H. **The neem tree, *Azadirachta indica* A. Juss., and other meliaceous plants: sources of unique natural products for integrated pest management, medicine, industry and other purposes**. Weinheim: VCH, 1995.

SILVA, A. E. da; CASSA, N.; FIGUEIREDO, F. S. M.; SOUZA, M. N. Desafios agroecológicos da produção sucroalcooleiro pós-Revolução Verde. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. VII. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. p. 205-233. ISBN: 978-65-84548-18-3. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-18-3.c7>

SILVA, E. L. da; HENRIQUE, E. P.; FIGUEIREDO, J. S. M.; XAVIER, S. A. B.; SARDINHA, M. P. R.; SOUZA, M. N. Impactos ambientais sobre a biodiversidade do solo decorrentes do uso do fogo: agroecologia e técnicas de produção sustentáveis. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. III. – Canoas, RS: Mérida Publishers. p. 208-228. 2022. <http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c7>

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N. **Produção de café orgânico: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural**. Novas Edições Acadêmicas: Beau Bassin, Mauritius, 2021. 72p. ISBN: 978-620-2-80825-2

SILVA, J. R. *et al.* Uso de extratos vegetais no manejo de pragas: uma revisão. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 3, p. 120-134, 2021.

SILVA, M. R. *et al.* Manejo nutricional sustentável para produção orgânica de café. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, n. 1, p. 50-61, 2019.

SILVA, R. A. *et al.* Biofertilizantes enriquecidos com microrganismos benéficos para a cafeicultura: avanços recentes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0210410, 2021.

SINGH, P.; SHARMA, A. Use of neem-based biopesticides for sustainable agriculture: a review. **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 8, 2022. DOI: 10.3390/su14084327.

SOUZA, H. S. *et al.* **Boas práticas de manejo para o controle da broca-do-café em cafezais sustentáveis.** Embrapa Café – Circular Técnica, n. 54, 2021.

SOUZA, J. R.; VENTURA, J. A. Relação entre nutrição mineral e doenças em cafeeiros. **Revista de Agricultura**, v. 72, n. 3, p. 123-130, 1997.

SOUZA, R. J. *et al.* Bioindicadores edáficos de sustentabilidade em áreas de cultivo agroecológico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 1, p. 221-229, 2021.

SOUZA, R. S. *et al.* Aplicação de quitosana e sua ação bioativa na proteção de plantas contra doenças. **Fitopatologia Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 159-168, 2022.

STINDT, D.; WELTZIEN, H. U. Effect of compost extracts on fungi causing diseases of vegetable crops. **European Journal of Plant Pathology**, v. 94, p. 675-683, 1988.

STOLL, G. **The Neem tree: *Azadirachta indica* A. Juss.** and other meliaceous plants. 2. ed. Madras: Medicinal and Aromatic Plants, 1989.

THEODORO, M. D. *et al.* Nutrição orgânica em sistemas agroecológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2001, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2001. p. 132–145.

THEODORO, V. C. de A.; CAIXETA, I. F.; GUIMARÃES, R. J. **Bases para a produção de café orgânico.** Lavras, MG: UFLA/PROEX, 2001. 101 p. (Boletim de Extensão).

TRATCH, A. F.; BETTIOL, W. Efeito do biofertilizante supermagro sobre esporos de *Hemileia vastatrix*. **Coffee Science**, v. 2, n. 1, p. 23-30, 1997.

VIDA, J. C. *et al.* Control of *Erysiphe polygoni* in common bean using fermented cattle manure effluent. **Plant Disease**, v. 77, n. 11, p. 1169-1171, 1993.

VILLACORTA, A.; BENASSI, A. C.; MELO, D. J. de. Controle biológico da broca-do-café com *Cephalonomia stephanoderis*: aspectos práticos e avanços. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 12, n. 2, p. 222-229, 2017.

WELTZIEN, H. U.; KETTERER, B. Control of *Plasmopara viticola* by compost extracts. **European Journal of Plant Pathology**, v. 92, p. 147-154, 1986.

WILSON, E. O. **The fire ant *Solenopsis saevissima* (Smith) in the state of São Paulo.** *Revista Brasileira de Biologia*, v. 12, n. 3, p. 347–356, 1952.

YARA Brasil. Yara. In: **Cultura do Café** - confira exigências e melhores práticas. 2024. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/exigencias-de-solo-e-agua-na-cultura-do-cafe/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

YIN, H. S.; TSAO, R. Induction of plant resistance by natural compounds: effects of vitamins and organic acids. **Plant Disease**, v. 83, n. 1, p. 13-19, 1999.

ZAMBOLIM, L. (Org.). **O estado da arte de doenças do cafeeiro no Brasil**. Viçosa, MG: UFV, 2009.

ZAMBOLIM, L.; POZZA, E. A. Influência da nutrição mineral na mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do. Perdas na produtividade e qualidade do cafeeiro causadas por doenças bióticas e abióticas. In: ZAMBOLIM, L. **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, p. 83-140, 2000.

ZAMPIERI, L. A.; OLIVEIRA, E. R.; SOARES, J. J. Manejo ecológico de pragas do cafeeiro. In: OLIVEIRA, E. R.; SOARES, J. J. (org.). **Agroecologia no cultivo do café: experiências e saberes**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018. p. 89-102.

Monitoramento da broca-do-café com armadilhas atrativas: estratégia para manejo sustentável

David Brunelli Viçosi, José Salazar Zanuncio Junior, Maurício José Fornazier, Rogério Carvalho Guarçoni, Cecília Uliana Zandonadi, Ubaldino Saraiva, Hércio Costa, Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c5>

Resumo

O Brasil é o maior produtor mundial de café, com destaque para as variedades *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, alcançando uma produção anual de aproximadamente 55 milhões de sacas beneficiadas. Contudo, a cultura enfrenta desafios recorrentes, como condições climáticas adversas, solos empobrecidos e, sobretudo, a incidência de pragas e doenças. Entre estas, destaca-se a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), uma das principais ameaças à produtividade e à qualidade dos grãos, com impactos econômicos significativos. Esse inseto perfura os frutos para oviposição, comprometendo a formação do grão e a qualidade da bebida. O cultivo em monocultura favorece sua disseminação, exigindo estratégias de manejo integrado de pragas (MIP). O MIP combina práticas como o monitoramento com armadilhas atrativas, o controle biológico com agentes naturais (como *Prorops nasuta* e *Beauveria bassiana*), e o manejo cultural, como a retirada de frutos remanescentes no pós-colheita. Em sistemas orgânicos e agroecológicos, valoriza-se a diversidade de cultivos e o uso de soluções naturais de controle. O monitoramento contínuo é essencial para determinar o momento ideal de intervenção, considerando o ciclo da praga e as condições climáticas. Este trabalho tem como objetivo analisar a eficácia das armadilhas atrativas no monitoramento da broca-do-café dentro de uma abordagem de MIP, visando sua detecção precoce, a redução de danos econômicos e a promoção de práticas sustentáveis na cafeicultura.

Palavras-chave: *Hypothenemus hampei*. Armadilhas atrativas. Manejo integrado de pragas. Cafeicultura sustentável. Controle biológico.

1. Introdução

O Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial de café, destacando-se nas variedades *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (conilon), com uma produção anual de aproximadamente 55,07 milhões de sacas beneficiadas de 60 quilos (CONAB, 2024). No entanto, essa expressiva produção tem sido constantemente ameaçada por fatores abióticos — como variações climáticas, temperatura e deficiência nutricional do solo — e por fatores bióticos, entre os quais se destaca a incidência de pragas e doenças.

Visando mitigar esses desafios, diversas ferramentas e estratégias têm sido desenvolvidas e aplicadas para aumentar a eficiência e sustentabilidade dos sistemas produtivos da cafeicultura nacional (EMBRAPA, 2024). Entre essas estratégias, destaca-se o sistema de boas práticas agrícolas, amplamente adotado pelos cafeicultores, que, entretanto, ainda se baseia majoritariamente na monocultura. Essa prática, ao favorecer a homogeneidade do ambiente, contribui para o aumento da vulnerabilidade fitossanitária das lavouras, elevando os riscos de perdas produtivas e econômicas.

Atualmente, uma das principais pragas da cultura é a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), considerada um dos insetos mais prejudiciais à qualidade e à produtividade dos cafezais. Diante desse cenário, torna-se essencial adotar estratégias que visem à prevenção, ao controle e à minimização dos danos causados por pragas. O manejo integrado de pragas (MIP) propõe uma abordagem sistêmica, que inclui o monitoramento populacional contínuo, o uso de cultivares resistentes, a rotação de culturas e a aplicação criteriosa de defensivos agrícolas. Ademais, o uso de inimigos naturais, como predadores e parasitas, é fundamental para promover o equilíbrio ecológico nos agroecossistemas (Salazar *et al.*, 2018; Fornazier *et al.*, 2019; Caixeta *et al.*, 2024).

Em sistemas de produção orgânicos e agroecológicos, nos quais o uso de produtos químicos sintéticos é restrito ou inexistente, busca-se minimizar a dependência de insumos externos, promover a conservação dos recursos naturais e manter o equilíbrio ecológico. Nessas abordagens, o controle de pragas é realizado por meio de práticas como a diversificação vegetal, o controle biológico, o controle mecânico e cultural, bem como o uso de extratos vegetais

e caldas fitoprotetoras, que demandam continuidade e manejo estratégico (Venzon *et al.*, 2014; Fornazier *et al.*, 2019).

A broca-do-café é considerada a principal praga da cultura no Brasil e no mundo. Trata-se de um pequeno besouro que perfura os frutos do cafeeiro para realizar a oviposição, permitindo que suas larvas se desenvolvam no interior do grão (Benavides *et al.*, 2005; Queiroz; Fanton, 2021). Como consequência do ataque, ocorre a queda prematura dos frutos, a redução da qualidade da bebida e a desvalorização comercial dos lotes. Além dos prejuízos diretos, o controle da praga acarreta custos adicionais à produção, comprometendo os resultados econômicos da atividade cafeeira (Figura 1).



Figura 1. Adulto de *Hypothenemus hampei* (broca-do-café) atacado pelo fungo *Beauveria bassiana*. Fonte: Incaper, 2019.

Na Figura 2, observa-se a representação dos danos causados pela broca-do-café em frutos de *Coffea arabica*, apresentados em sequência desde o estágio de maturação até os grãos secos beneficiados para comercialização. A presença da praga compromete diretamente a integridade do grão, refletindo-se na redução da qualidade e no valor de mercado do produto final.

O prejuízo econômico associado à infestação por *Hypothenemus hampei* é um dos principais entraves à sustentabilidade da cafeicultura brasileira. Entre os fatores agravantes, destacam-se o monitoramento ineficiente e o manejo fitossanitário inadequado, que impactam diretamente a produtividade e a qualidade da lavoura (Vega *et al.*, 2009; Fornazier *et al.*, 2019). As condições

microclimáticas — especialmente ambientes com elevada umidade e temperaturas elevadas — favorecem a proliferação da praga. Além disso, chuvas intensas podem antecipar o florescimento dos cafeeiros, dificultando o controle (Parra; Reis, 2013).



Figura 2. Presença e danos causados pela broca-do-café em café arábica, A – frutos em estágio de colheita e B - grãos beneficiados danificados. Fonte: Acervo David Brunelli Viçosi, 2024.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar estratégias de enfrentamento à broca-do-café por meio do uso de armadilhas atrativas, avaliando o impacto do monitoramento contínuo da praga dentro de uma abordagem de manejo integrado de pragas (MIP). A pesquisa busca verificar a eficácia dessas armadilhas na detecção precoce e na redução da população da praga, contribuindo para a diminuição dos prejuízos econômicos e promovendo práticas sustentáveis e de baixo custo. Dessa forma, pretende-se mitigar o uso de insumos químicos no controle da praga, alinhando a cafeicultura com princípios agroecológicos e de conservação ambiental.

2. Produção cafeeira e a broca-do-café

De acordo com a CONAB (2024), o Brasil produziu, em 2024, cerca de 55,07 milhões de sacas de café, considerando as espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (conilon). Nesse contexto, a região Sudeste se destaca com

a maior concentração de área cultivada, representando 89% do total nacional e respondendo por 47,85 milhões de sacas produzidas. Apesar desses números expressivos, a produtividade média ainda está aquém do potencial esperado. Programas de melhoramento genético têm buscado o desenvolvimento de cultivares com maior rendimento, qualidade sensorial superior e resistência a pragas e doenças, com o intuito de elevar a sustentabilidade da cafeicultura (CONAB, 2024; Ferrão *et al.*, 2021).

O cultivo do café desempenha um papel central na agricultura familiar brasileira, sendo a principal fonte de renda para muitas propriedades, contribuindo diretamente para a economia local e a subsistência das famílias envolvidas. As cultivares de café arábica amplamente utilizadas pertencem ao grupo dos “Catuaís”, caracterizadas por sua alta suscetibilidade a pragas e doenças foliares, o que exige a adoção intensiva de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário (Krohling *et al.*, 2018).

Um dos principais desafios enfrentados pelos cafeicultores se refere ao controle de pragas e doenças, cujos ataques comprometem a formação dos frutos, resultando na redução do peso, da qualidade e, conseqüentemente, no aumento dos custos de produção. Quando o controle adequado não é empregado, há risco de inviabilização econômica do cultivo (Reis; Souza; Venzon, 2002; Silva *et al.*, 2023).

Dentre as pragas de maior impacto está a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), considerada a principal praga de ataque direto aos frutos. Sua capacidade de dano está diretamente relacionada à sua biologia e comportamento, o que destaca a importância do conhecimento aprofundado desses aspectos para a formulação de estratégias eficazes de manejo (Queiroz; Fanton, 2021).

A compreensão do ciclo de vida do inseto (Figura 3) é fundamental para que o manejo manual, por exemplo, seja realizado de forma estratégica. Durante o desenvolvimento, os machos passam por duas fases larvais, enquanto as fêmeas apresentam três fases. O ciclo de desenvolvimento da fêmea é mais longo, e ela é a principal responsável pelo ataque aos frutos, embora o manejo deva ser direcionado a ambos os sexos.

Os danos causados pela broca-do-café podem ser observados diretamente na perda de peso dos grãos beneficiados, uma vez que aqueles totalmente destruídos ou severamente danificados são descartados durante o processo de beneficiamento. Indiretamente, a presença de grãos brocados deprecia o valor comercial do lote, influenciando negativamente a classificação da bebida e, conseqüentemente, o preço de venda do produto (Vega *et al.*, 2009; Fornazier *et al.*, 2019).

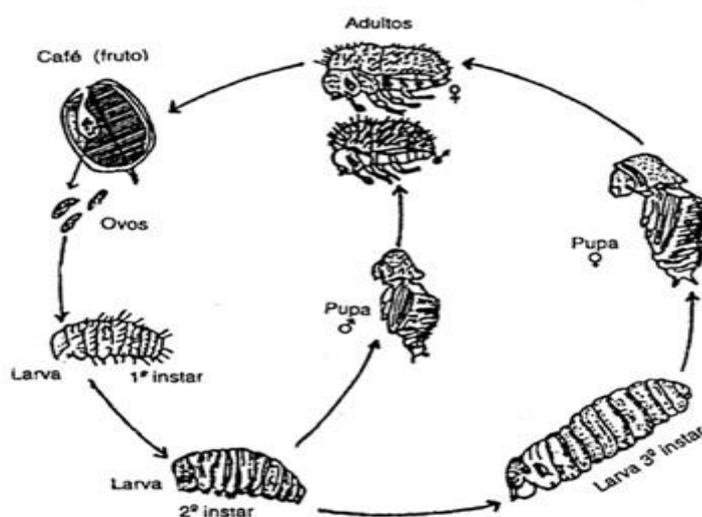


Figura 3. Ciclo de vida do *Hypothenemus hampei*. Fonte: Adaptado da Revista Cultivar, 2020.

A dinâmica de infestação da broca-do-café está fortemente condicionada a fatores climáticos, como precipitação, temperatura e umidade relativa, além do estado fisiológico dos frutos. Esses fatores influenciam a flutuação populacional da praga e o início da colonização dos frutos. O ataque à lavoura tem início, geralmente, cerca de 90 dias após a florada principal, período em que os frutos atingem cerca de 20% de matéria seca e aproximadamente 120 dias de desenvolvimento (Parra; Reis, 2013; Souza *et al.*, 2013).

Para alcançar uma produção satisfatória e compatível com os princípios da sustentabilidade, é essencial adotar o Manejo Integrado de Pragas (MIP), um sistema que reúne práticas agrícolas diversas. Dentre essas práticas, destacam-se o monitoramento constante, o uso de cultivares resistentes, a rotação e o consórcio de culturas, a manutenção da cobertura do solo, o uso racional de

defensivos agrícolas e a responsabilidade ambiental. A inclusão de inimigos naturais, como predadores e parasitoides, é fundamental para manter o equilíbrio ecológico no agroecossistema (Zanuncio Junior *et al.*, 2018; Caixeta *et al.*, 2024).

O MIP é uma realidade consolidada em diversas culturas agrícolas, contando com programas bem estruturados que fornecem aos produtores ferramentas adequadas para o enfrentamento de problemas fitossanitários (EMBRAPA, 2024). Na prática, o manejo integrado envolve três ações centrais: (1) identificar formas de modificar o ciclo biológico do organismo-praga para mantê-lo abaixo do nível de dano econômico; (2) aplicar o conhecimento ecológico e biológico aliado às tecnologias disponíveis, de forma prática e eficiente; e (3) desenvolver métodos de controle compatíveis com os aspectos econômicos, ecológicos e sociais, assegurando o acesso às tecnologias por agricultores de diferentes contextos (Guedes *et al.*, 2009; Vega *et al.*, 2009; Carvalho; Barcellos, 2012).

Para que o MIP seja efetivo, o monitoramento é o primeiro e mais importante passo. Conhecer a cultura, a cultivar utilizada e seu comportamento em relação às pragas permite o planejamento adequado das ações de controle e a definição dos níveis de dano econômico (Zanuncio Junior *et al.*, 2018).

3. Monitoramento da broca-do-café

No contexto do manejo de pragas, o monitoramento é uma ferramenta fundamental para subsidiar a tomada de decisão do cafeicultor. A utilização de diferentes métodos de observação e amostragem permite uma avaliação mais precisa da incidência da praga na lavoura, possibilitando intervenções mais eficientes e em momentos adequados.

No Brasil, uma das metodologias mais empregadas para avaliar a incidência da broca-do-café baseia-se em amostragem destrutiva. Esse método consiste na contagem percentual de frutos danificados em plantas selecionadas aleatoriamente em cada talhão da lavoura. Os dados são registrados em planilhas de campo, contemplando o número de frutos brocados, o nível de infestação populacional e orientações para controle. Recomenda-se o início das

medidas de controle quando os níveis de infestação atingem de 3% a 5% dos frutos avaliados (Bianco, 2007; Souza *et al.*, 2013; Caixeta *et al.*, 2024).

O controle da *Hypothenemus hampei* é um desafio para os cafeicultores, principalmente devido ao fato de que grande parte do seu ciclo de vida ocorre no interior dos frutos, o que dificulta a visualização da praga e a efetividade de intervenções. Além disso, fatores ambientais como temperatura, umidade e regime de chuvas exercem influência direta sobre a dinâmica populacional da praga nas lavouras (Fornazier *et al.*, 2007; Fernandes *et al.*, 2014).

No entanto, os impactos negativos causados pela broca-do-café podem ser significativamente reduzidos por meio da adoção de métodos e ferramentas apropriadas, especialmente quando se realiza o monitoramento contínuo e o controle é aplicado durante a chamada "época de trânsito". Esse período corresponde ao momento em que as fêmeas emergem dos frutos infestados e realizam o voo em busca de novos frutos para oviposição (Jaramillo *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2013).

A Figura 4 ilustra uma metodologia de amostragem para verificação da presença e do nível de infestação da broca-do-café na lavoura. Essa praga pode causar danos significativos desde a fase de granação dos frutos até a estocagem e beneficiamento dos grãos, exigindo vigilância constante e aplicação correta de medidas de controle. Quando negligenciada, a infestação compromete não apenas o rendimento da safra, mas também a qualidade do produto final, gerando prejuízos econômicos expressivos (Jaramillo *et al.*, 2015; Fornazier *et al.*, 2019).

Contudo, a utilização do plano de amostragem do tipo binomial (presença-ausência) demanda tempo considerável para sua execução e pode elevar os custos de produção. Diante dessa limitação, torna-se viável a adoção de métodos complementares que contribuam para a redução dos impactos da praga nas lavouras, com destaque para o uso de armadilhas atrativas. Essas armadilhas funcionam como ferramentas de monitoramento que permitem o acompanhamento populacional da broca-do-café, auxiliando o cafeicultor na tomada de decisão quanto ao momento mais oportuno para a adoção de medidas de controle (Souza, 2019).



Figura 4. Amostragem nos frutos de café para verificação da presença e ou intensidade percentual do ataque da broca-do-café. A – Frutos na planta de café com ataque da broca. B – Amostragem aleatória de frutos. C – Amostra selecionada para verificação do percentual de frutos com o ataque da praga. Fonte: Acervo de David Brunelli Viçosi, 2024.

4. Monitoramento da broca-do-café com armadilha atrativa

No âmbito de um programa de MIP, a utilização de armadilhas atrativas com semioquímicos tem se mostrado uma ferramenta estratégica, não apenas para indicar o momento ideal de aplicação dos métodos de controle, mas também para promover a captura massal da praga, em casos de alta infestação (Rainho, 2015). Associadas a práticas culturais adequadas, essas armadilhas contribuem significativamente para a redução da ocorrência de pragas que causam prejuízos econômicos à cafeicultura.

Uma das formas de monitoramento consiste na manipulação do comportamento dos insetos em resposta a estímulos químicos ou visuais ligados à sua biologia e ecologia. Nesse contexto, as armadilhas atuam explorando o momento crítico da chamada “época de trânsito” da broca-do-café, que corresponde ao período em que as fêmeas adultas saem dos frutos remanescentes da safra anterior (grãos de invernção) e alçam voo em busca

de novos frutos para oviposição e colonização (Silva *et al.*, 2006; Souza *et al.*, 2018).

Diversos modelos de armadilhas vêm sendo propostos para o monitoramento da *Hypothenemus hampei*, com destaque para o modelo desenvolvido pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR, 2007). Essa armadilha é confeccionada com garrafas plásticas descartáveis, sendo de fácil construção e baixo custo, o que a torna acessível para pequenos e médios produtores. O atrativo utilizado consiste em uma mistura de dois álcoois, geralmente etanol e metanol, em proporções específicas, que liberam compostos voláteis capazes de atrair as fêmeas da broca. A Figura 5 apresenta as etapas de construção e o uso adequado da armadilha.

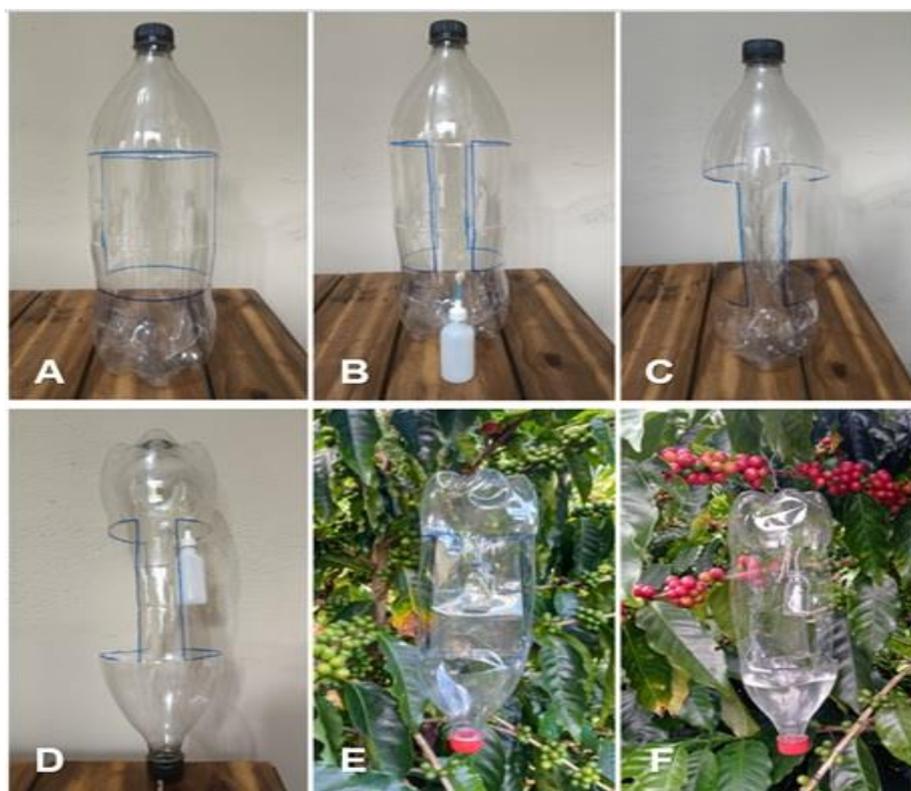


Figura 5. Etapas para construção e uso da armadilha atrativa de garrafa plástica descartável. A – Marcação das medidas na garrafa, molde de 16 x 12cm. B – Faixa lateral fixa necessária na marcação e recipiente de 30ml para o atrativo semioquímico. C – Cortes laterais em ambos os lados da garrafa, com a faixa fixa lateral. D – Armadilha montada e pronta para o uso e E/F – Armadilha atrativa instalada da maneira correta e acompanhamento em diferentes estágios de maturação do café. Fonte: Acervo de David Brunelli Viçosi, 2024.

A instalação da armadilha atrativa deve ser realizada na lavoura de café, preferencialmente em locais frescos e sombreados, condições que contribuem para a redução da evaporação da mistura atrativa. Recomenda-se uma densidade de 20 armadilhas por hectare. As armadilhas devem ser fixadas nas plantas com auxílio de arame, posicionadas a uma altura aproximada de 1,50 m do solo, contendo um recipiente com cerca de 30 ml da mistura atrativa. Na parte inferior da armadilha, deve-se colocar uma solução aquosa com detergente a 5%, cuja função é capturar as brocas atraídas (Fernandes *et al.*, 2014).

Atualmente, diversas armadilhas baseadas em cairomônios (semioquímicos) têm sido desenvolvidas para o monitoramento da broca-do-café. A mistura mais comum utilizada consiste em uma proporção de 1:3 entre álcool etílico (etanol) e álcool metílico (metanol). O uso dessas armadilhas não se limita a indicar o momento ideal para a aplicação de métodos de controle, mas também serve para quantificar o número de insetos capturados na amostragem preliminar, sendo uma estratégia eficaz de captura massal e suporte à tomada de decisão do cafeicultor (Pereira, 2006; Rainho, 2015; Mendoza-Cervantes *et al.*, 2021).



Figura 6. Monitoramento e captura de pragas do cafeeiro com armadilha atrativa. Fonte: Acervo de David Brunelli Viçosi, 2024.

A Figura 6 apresenta uma armadilha atrativa simples e de baixo custo instalada na lavoura, utilizada para o acompanhamento populacional da broca-

do-café, identificação da presença e incidência da praga, além de auxiliar na definição das estratégias de controle.

No sistema de boas práticas agrícolas, o controle de pragas é, em geral, realizado por meio da aplicação de inseticidas sintéticos. Esse método apresenta vantagens como facilidade de uso e ação rápida; porém, envolve o uso de produtos altamente tóxicos e pode levar à seleção de linhagens de pragas resistentes. Em contrapartida, em sistemas de produção onde o controle químico é restrito ou inexistente, como na agricultura orgânica e agroecológica, adotam-se princípios que buscam a menor dependência possível de insumos externos, a conservação dos recursos naturais e o equilíbrio dos agroecossistemas. Nesses modelos, estratégias como diversificação da vegetação, controle biológico, controle mecânico, controle cultural, além do uso de extratos vegetais e caldas fitoprotetoras, são fundamentais e demandam continuidade para a eficácia do manejo (Fornazier *et al.*, 2019; Venzon *et al.*, 2014).

O controle cultural consiste em um conjunto de práticas que visam dificultar o crescimento populacional da broca-do-café. Durante a colheita, é imprescindível a retirada completa dos frutos das plantas, bem como a coleta dos frutos que caem ao solo. Essa prática contribui para a redução das populações remanescentes da praga entre safras, diminuindo os danos na próxima colheita. Frutos remanescentes, tanto nas plantas quanto no solo, são os principais reservatórios que permitem a sobrevivência e a multiplicação da broca-do-café (Fornazier *et al.*, 2019; Souza, 2019; Caixeta *et al.*, 2024).

5. Contribuições das armadilhas atrativas para o manejo sustentável da broca-do-café

As armadilhas atrativas constituem uma importante ferramenta dentro do MIP, contribuindo significativamente para a sustentabilidade da cafeicultura. Ao permitir o monitoramento contínuo e a detecção precoce da broca-do-café, essas armadilhas possibilitam a tomada de decisão mais precisa e oportuna sobre o controle da praga, evitando intervenções desnecessárias e excessivas (Rainho, 2015; Souza *et al.*, 2018).

Além de servirem como método de monitoramento, as armadilhas, quando empregadas em estratégias de captura massal, podem reduzir diretamente a população da praga, minimizando a necessidade do uso de inseticidas químicos sintéticos, cuja aplicação recorrente pode acarretar impactos ambientais negativos e o desenvolvimento de resistência em populações de pragas (Fornazier *et al.*, 2019; Pereira, 2006).

Em sistemas de produção orgânicos e agroecológicos, onde o uso de defensivos químicos é restrito ou proibido, as armadilhas atrativas são ainda mais relevantes, pois promovem o controle da broca-do-café alinhado aos princípios de menor dependência de insumos externos e preservação dos recursos naturais (Venzon *et al.*, 2014; Caixeta *et al.*, 2024).

Portanto, a incorporação das armadilhas atrativas no manejo da broca-do-café contribui para a redução dos custos de produção, preservação da biodiversidade do agroecossistema, proteção da qualidade do café e promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, alinhadas às demandas socioambientais atuais.

6. Considerações

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) é uma prática consolidada em diversas culturas agrícolas, contando com programas cada vez mais desenvolvidos e aprimorados, que oferecem aos agricultores ferramentas avançadas para o diagnóstico e o controle eficiente de problemas fitossanitários. No contexto da cafeicultura, a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) representa uma das principais pragas, responsável por perdas significativas na produção e na qualidade do grão em escala mundial.

A introdução dos inseticidas sintéticos trouxe avanços importantes no controle da broca, possibilitando respostas rápidas às infestações. Contudo, essa abordagem também gerou impactos ambientais negativos, como o acúmulo de resíduos químicos, contaminação do solo e dos recursos hídricos, além do desequilíbrio dos ecossistemas agrícolas e do surgimento de populações resistentes à química. Também se destaca o risco associado ao uso inadequado

desses produtos pelos agricultores, que pode comprometer a segurança alimentar e a saúde humana.

Com o avanço no conhecimento da bioecologia da broca-do-café e o desenvolvimento de métodos alternativos, houve uma ampliação das estratégias de manejo, priorizando métodos comportamentais, culturais e biológicos, em consonância com a crescente demanda por alimentos mais seguros e livres de resíduos de agrotóxicos. Nesse contexto, as armadilhas atrativas artesanais, utilizando a mistura de etanol e metanol, destacam-se como ferramentas eficazes para o monitoramento da praga, combinando baixo custo, acessibilidade para produtores de diferentes escalas e boa eficiência na captura da broca.

A correta instalação e o monitoramento sistemático dessas armadilhas possibilitam a detecção precisa da flutuação populacional da broca nos diferentes estágios de desenvolvimento do cafeeiro, identificando especialmente a presença da praga no período crítico conhecido como “época de trânsito”. Com isso, o cafeicultor obtém informações confiáveis para a tomada de decisão e o momento ideal para a adoção de intervenções de controle, reduzindo os riscos de danos econômicos significativos.

Além disso, em sistemas de produção agroecológicos, onde o controle químico é restrito ou inexistente, o uso de armadilhas atrativas integra-se aos princípios de sustentabilidade ao promover o manejo da broca de forma compatível com a conservação dos recursos naturais e o equilíbrio do agroecossistema. Ao reduzir a dependência de insumos externos, minimizar o impacto ambiental e favorecer o uso de métodos biológicos e culturais, as armadilhas contribuem para a viabilidade econômica e ambiental da cafeicultura sustentável, fortalecendo a produção de cafés com maior valor agregado e apelo ao mercado consumidor consciente.

Portanto, o emprego das armadilhas atrativas no manejo da broca-do-café representa uma ferramenta indispensável para a cafeicultura moderna, especialmente quando incorporada em programas integrados que buscam a redução do uso de agroquímicos, a proteção ambiental e a produção de cafés de alta qualidade e com certificações voltadas à sustentabilidade.

7. Referências

BENAVIDES, P. *et al.* Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 98, ed.3, p. 359-366, 2005. DOI: 10.1603/0013-8746(2005)098[0359:BABOAI]2.0.CO;2.

BIANCO, R. Amostragem e monitoramento para o manejo da broca-do-café no Brasil. In: Manejo da broca-do-café: workshop internacional. **Anais...** Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina, PR. Celso Luiz Hohmann (Org.). 2007. 282 p.

CAIXETA, E. T. *et al.* **Manejo integrado de pragas e doenças do café arábica**. Embrapa Café – Circular Técnica – 008. ISSN 2317-2029. Brasília – DF, outubro de 2024.

CARVALHO, N. L.; BARCELLOS, A. L. Adoção do manejo integrado de pragas baseado na percepção e educação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 5, p. 749-766, 2012. DOI: 10.5902/223611704204.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira. CONAB - **Boletim Café – Safra 2024, 3º Levantamento**. 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em: 08 nov. 2024.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Busca de publicações – EMBRAPA**. 2024. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/busca/cafeicultura?>>. Acesso em: 21 out. 2024.

FERNANDES, F. L. *et al.* Controle massal da broca-do-café com armadilhas de garrafa Pet vermelha em cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília – DF, v. 49, p. 587-594, 2014. DOI: org/10.1590/S0100-204X2014000800002.

FERRÃO, M. A. G. *et al.* Indicação de cultivares de café arábica para o estado do Espírito Santo e avaliação comparativa com o conilon em altitude elevada. In: **Circular Técnica - EMBRAPA**. 6. ed. Brasília: Embrapa, 2021. p. 47. ISBN - 2317-2029.

FORNAZIER, M. J. *et al.* Integrated Pest Management in Conilon Coffee. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. (Org.). **Conilon Coffee**. 1ed. VITÓRIA, ES. 2019, v. 1, p. 493-533.

FORNAZIER, M. J. *et al.* Pragas do café conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. de (Ed.). **Café Conilon**. Vitória: Incaper. 2007, p. 406-449.

GUEDES, J. C.; COSTA, I. D.; CASTIGLIONI, E. (Ed.) **Bases técnicas do manejo de insetos**. Embrapa Clima Temperado - Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Defesa Fitossanitária, 2009. 234 p.

IAPAR. INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - **Armadilhas IAPAR para o manejo da broca-do-café**. Informe institucional – Na pesquisa cafeeira desde 1972. 2007. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Armadilha_Broca.pdf> Acesso em: 20 nov. 2024.

JARAMILLO, J. *et al.* Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: predications of climate change impact on a tropical insect pest. **PlosOne**, v. 4, n. 8, p. 1-11, 2009. DOI: 10.1371/journal.pone.0006487.

JARAMILLO, J.; MONTOYA, E. C; BENAVIDES, P.; GÓNGORA, C. C. *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* para o controle da broca do café em frutos do solo. **Colombian Journal of Entomology**, v. 41, n. 1, p. 95-104, 2015.

KROHLING, C. A. *et al.* Adaptation of progênies/cultivars of arabica coffee (*Coffea arabica* L.) in mountatinous edafoclimatic conditions. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 198-209, 2018.

MANEJO DA BROCA-DO-CAFÉ. [S.l.]: **Revista Cultivar**, 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/manejo-da-broca-do-cafe>. Acesso em: 30 abr. 2025.

MENDOZA-CERVANTES, G.; GUZMÁN-LÓPEZ, O.; SALINAS-CASTRO, A. Manejo de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), con atrayentes etanólicos en cultivos de café de Coatepec, Veracruz, México. **Revista chilena de entomologia**, v. 47, n. 2, p. 265-273, 2021. ISSN 0718-8994.

PARRA, J. R. P.; REIS, P. R. Manejo integrado das principais pragas da cafeicultura no Brasil. **Visão agrícola**, v. 1, n. 12, p. 47-50, 2013.

PEREIRA, A. E. **Uso de armadilha visando geração de nível de ação e correlação entre captura e infestação de *Hypothenemus hampei* na cultura do café**. Dissertação (Mestrado em Entomologia). Programa de Pós-Graduação em Entomologia. UFV. Viçosa - MG. 2006.

QUEIROZ, R. B.; FANTON, C. J. Broca do café: ainda é a principal praga do cafeeiro? In: PARTELLI, F. L.; PEREIRA, L. L. **Café conilon: conilon e robusta no Brasil e no mundo**. V.1. ed. Alegre: Caufes, 241 p. 2021.

RAINHO, H. L. **Resposta comportamental da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) a voláteis de frutos de café**. 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Entomologia Agrícola). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal-SP. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/d71802af-5f59-42c5-a3c6-d937d12065cf/full>. Acesso em: 20 nov. 2024.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C. de; VENZON, M. Manejo ecológico das principais pragas do cafeeiro. **Informe Agropecuário**. Café orgânico, Belo Horizonte, v. 23, n. 214/215, p. 83-99, 2002.

SILVA, F. C.; VENTURA, M. U.; MORALES, L. Capture of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in response to trap characteristics. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 6, p. 567-571, 2006. DOI: 10.1590/S0103-90162006000600010.

SILVA, R. A. *et al.* Vazio sanitário como importante estratégia no manejo da broca-do-café. Belo Horizonte: **EPAMIG - Boletim Técnico**, n. 390, 4 p., 2023.

SOUZA, J. C. *et al.* Cafeicultor: saiba como monitorar e controlar a broca-do-café com eficiência. Belo Horizonte: **EPAMIG - Circular técnica**, n. 291, 3 p., 2018. ISSN 0103-4413.

SOUZA, R. A. de. **Métodos de manejo para broca-do-café, *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)**. 2019. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

VEGA, F. *et al.* The coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. **Terrestrial Arthropod Reviews**, v. 2, p. 129-147, 2009. DOI: 10.1163/187498209X 12525675906031.

VENZON, M. *et al.* Métodos alternativos para o controle de pragas do cafeeiro. **EPAMIG - Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.35, n.280, p.67-75, 2014.

ZANUNCIO JUNIOR, J. S. *et al.* Manejo agroecológico de pragas: alternativas para uma agricultura sustentável. **Revista Intelletto**, v. 3, n. 3, p. 18-34, 2018. ISSN 2525-9075.

Bokashi: a revolução dos adubos orgânicos na agricultura sustentável

Samuel Felisberto de Freitas, Alex Justino Zacarias, Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima, Ludmila Lisbôa Porto, Daniela Fosse Valbao, Alex Justino Zacarias, Willian Moreira da Costa, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c6>

Resumo

Na agricultura contemporânea, a contribuição da matéria orgânica para a fertilidade do solo tem sido frequentemente subestimada em favor do uso intensivo de fertilizantes químicos. No entanto, práticas alternativas vêm ganhando destaque, como o uso do Bokashi — um adubo orgânico fermentado, de origem japonesa, produzido a partir de resíduos orgânicos inoculados com Microrganismos Eficientes (EM). Esses microrganismos, que podem ser coletados em solos de mata ou obtidos comercialmente, atuam como agentes fermentadores, possibilitando a produção de um composto rico em nutrientes. O processo de fermentação pode ocorrer em ambiente aeróbico (Bokashi) ou anaeróbico (Kenki-Bokashi). Na cafeicultura, a aplicação do Bokashi tem se mostrado promissora, promovendo melhorias nas propriedades físico-químicas do solo, aumentando a produtividade e contribuindo para a sanidade das plantas, com menor incidência de pragas e doenças.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Microrganismos eficientes. Fermentação. Fertilidade do solo. Cafeicultura sustentável.

1. Introdução

Atender à crescente demanda global por alimentos de alta qualidade representa um dos principais desafios da agricultura contemporânea (Ma *et al.*, 2017). Práticas convencionais como monoculturas, revolvimento excessivo do solo, uso intensivo de fertilizantes minerais solúveis e aplicação de defensivos químicos sintéticos comprometem o equilíbrio ecológico dos agroecossistemas. Essas ações podem degradar as redes tróficas, alterar a composição das comunidades biológicas do solo e comprometer a sustentabilidade agrícola em longo prazo (FAO, 2022; Kruker *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2025).

No Brasil, a maior parte dos solos apresenta acidez elevada, baixa fertilidade natural e alto grau de intemperismo, exigindo intervenções corretivas para viabilizar a produção agrícola (Kruker *et al.*, 2023). Em 2022, o país consumiu aproximadamente 38,2 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo 88% importados, o que evidencia a forte dependência do mercado externo (ANDA, 2022). Esse cenário reforça a necessidade de alternativas mais sustentáveis, econômicas e ambientalmente adequadas para a adubação.

A reciclagem de resíduos orgânicos tem se consolidado como estratégia eficaz na recuperação da fertilidade do solo e na promoção da agricultura sustentável. Dentre essas alternativas, destaca-se o Bokashi — um biofertilizante fermentado de origem japonesa, amplamente utilizado em sistemas de produção orgânica (FAO, 2011). Produzido a partir de uma combinação balanceada de resíduos vegetais, animais e minerais, inoculados com Microrganismos Eficientes (EM), o Bokashi promove a fermentação e a decomposição da matéria orgânica, gerando um composto altamente nutritivo (Jusoh *et al.*, 2013; Wijayanto *et al.*, 2016; Lasmini *et al.*, 2018; Salisu *et al.*, 2018).

Estudos indicam que sua aplicação melhora a estrutura física do solo, aumenta a retenção de água, eleva a atividade microbiana benéfica e a disponibilidade de nutrientes para as plantas, além de contribuir para a supressão de doenças de solo (Gomes *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2022). Culturas como tomate, alface, milho e café apresentam respostas positivas ao uso do Bokashi, com incrementos na produtividade, na qualidade dos produtos e na resiliência frente a estresses bióticos e abióticos (Olle, 2021; Rivas *et al.*, 2023).

O Bokashi pode ser produzido na própria propriedade, utilizando resíduos locais, o que reduz custos, dependência de insumos externos e emissões associadas ao transporte e produção de fertilizantes químicos. Em sistemas agroecológicos, essa prática fortalece a autonomia dos agricultores, valoriza o conhecimento tradicional e contribui para a conservação dos recursos naturais e da biodiversidade (Lasmini *et al.*, 2018; Kruker *et al.*, 2023; Rivas *et al.*, 2023).

Além dos benefícios agronômicos e econômicos, o Bokashi representa um avanço na transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis, resilientes e integrados aos princípios ecológicos. Sua adoção está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo não apenas o aumento da produção, mas também a regeneração dos ecossistemas e a mitigação das mudanças climáticas (FAO, 2022; IPCC, 2023).

2. Agricultura sustentável

A agricultura global enfrenta o desafio urgente de garantir a segurança alimentar, fornecendo alimentos, fibras e energia limpa de forma ambientalmente responsável. Entre os principais obstáculos, destacam-se a crescente escassez de terra e água, os efeitos das mudanças climáticas e seus eventos extremos, o aumento da renda per capita, o avanço da urbanização e a demanda crescente por alimentos mais nutritivos, funcionais e rastreáveis por parte de consumidores digitalizados (Massruhá *et al.*, 2020; Souza, 2024).

O crescimento populacional intensifica a necessidade de expandir a produção de alimentos, o que torna essencial a adoção de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis (Hundley *et al.*, 2013). A agricultura, uma das mais antigas atividades humanas, representa uma ligação histórica entre sociedade e natureza. Desde meados do século XX, a produção agrícola aumentou significativamente para suprir tanto a alimentação humana quanto animal (Jacob, 2016). Contudo, esse avanço tem gerado forte pressão sobre os recursos naturais, tornando a agricultura uma das atividades que mais consomem água, energia, solo e minerais.

Esse uso intensivo de insumos e recursos posiciona a agricultura como uma das principais causas do desmatamento e da perda de biodiversidade

global, além de ser a segunda maior responsável pelas emissões de gases de efeito estufa (Sorrentino *et al.*, 2015; Souza, 2024). No panorama atual, coexistem diferentes abordagens de produção, entre as quais se destacam o modelo convencional — que inclui práticas como uso de transgênicos e sistemas hidropônicos — e o sistema agroecológico, que compreende a produção orgânica e agroecológica (Matos *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2025).

O modelo convencional, focado em alta produtividade e uso intensivo de insumos químicos, frequentemente resulta em degradação ambiental, perda da fertilidade do solo, poluição hídrica e aérea, e impactos negativos sobre a biodiversidade. Além disso, sua elevada dependência de agrotóxicos levanta preocupações quanto à saúde humana e à contaminação dos ecossistemas (Santos, 2013; Souza, 2024). Segundo Jacob (2016), a agricultura convencional compromete as gerações futuras, ao promover a degradação ambiental, o desperdício de recursos naturais, a perda de biomas, a desigualdade social e o desperdício alimentar.

Diante desse cenário, torna-se evidente que a agricultura do futuro precisa ser simultaneamente produtiva e sustentável, integrando tecnologias, práticas ecológicas e responsabilidade social. A transição para sistemas mais resilientes requer a adoção dos princípios da agroecologia, promovendo uma produção que equilibre eficiência, conservação ambiental e equidade social (Altieri, 2018; Matos *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2024).

Duas estratégias distintas vêm sendo propostas para promover a sustentabilidade agrícola. A primeira consiste em incorporar práticas socioambientais mais responsáveis à agricultura convencional, em uma abordagem de curto prazo. A segunda propõe a conversão gradual para sistemas agroecológicos, o que demanda um período de transição mais longo e profundo (Ellis, 1979; Altieri, 2018; Souza *et al.*, 2024).

A agricultura sustentável é um conceito abrangente que engloba práticas de manejo regenerativo, tecnologias apropriadas e uma visão sistêmica do território agrícola (Figura 1). Essa abordagem ganha força diante do reconhecimento de que o modelo convencional, formulado no pós-guerra, não será suficiente para atender às necessidades do século XXI (Gomes *et al.*, 2021).



Figura 1. Mix de plantas implantado nas ruas do café: início de trabalho com a agricultura regenerativa da Fazenda do Lobo, no Sul de Minas em Três Corações. Fonte: <https://maisagro.syngenta.com.br/sustentabilidade/agricultura-regenerativa-na-cafeicultura-brasileira/>.

Além disso, as monoculturas contínuas em uma mesma área têm mostrado efeitos severos sobre a vitalidade do solo, comprometendo sua estrutura e a biodiversidade da micro e macrofauna. Esse processo de degradação compromete também a qualidade da água superficial e subterrânea. Como consequência, as plantas se tornam mais suscetíveis a pragas e doenças, exigindo maior uso de fertilizantes e pesticidas, além de um incremento no consumo de energia para o preparo e manejo do solo, elevando os custos de produção e os impactos ambientais (Singh *et al.*, 2011; Gomes *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2024).

Assim, a transição para modelos sustentáveis não é apenas desejável, mas necessária. Ela requer políticas públicas, incentivos econômicos, capacitação técnica e o fortalecimento das redes de conhecimento e cooperação entre agricultores, pesquisadores e consumidores.

3. Os adubos orgânicos

Nos últimos anos, observa-se um aumento expressivo na demanda por alimentos mais saudáveis e ambientalmente responsáveis, impulsionado por

consumidores que priorizam produtos cultivados com menor uso de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos (Cavalcante *et al.*, 2010; Souza *et al.*, 2025). Esse novo perfil de consumo tem incentivado a agricultura a adotar práticas mais sustentáveis, promovendo o avanço de tecnologias inovadoras, como o manejo integrado de nutrientes baseado na utilização de insumos naturais, entre os quais se destacam os biofertilizantes (Mesquita *et al.*, 2007; Cavalcante *et al.*, 2008; Aseri *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2024).

A adubação orgânica representa uma dessas práticas sustentáveis, promovendo benefícios agronômicos e ecológicos significativos. Além de contribuir para a melhoria da estrutura do solo, essa forma de adubação aumenta a capacidade de retenção de água, favorece a aeração, eleva a disponibilidade de nutrientes e estimula a atividade de microrganismos benéficos — fatores fundamentais para o desenvolvimento radicular saudável das plantas (Malavolta *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2023). Os adubos orgânicos são a base para a produção de biofertilizantes, obtidos por meio da decomposição controlada da matéria orgânica por microrganismos, em processos aeróbicos ou anaeróbicos (Rodrigues *et al.*, 2012; Dias *et al.*, 2021) (Figura 2).



Figura 2. Biofertilizantes. Fonte: <https://agroadvance.com.br/blog-biofertilizantes/>.

A matéria orgânica presente nesses fertilizantes atua como fonte de energia para a microbiota do solo, contribuindo para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do ambiente edáfico. Entre os principais efeitos, destacam-se o aumento da porosidade, a maior retenção de umidade, a regulação térmica do solo, o retardo na fixação do fósforo e o incremento na capacidade de troca catiônica (CTC), reduzindo perdas por lixiviação e aumentando a eficiência da nutrição vegetal (Rodrigues *et al.*, 2012; Silva; Andrade, 2022).

Em solos tropicais, como os encontrados em grande parte do território brasileiro, a aplicação de fertilizantes orgânicos se mostra ainda mais estratégica. Nesses ambientes, a rápida decomposição da matéria orgânica, em virtude das altas temperaturas e da intensa atividade microbiana, exige reposição constante para manter a fertilidade e a estabilidade estrutural do solo (Villas Bôas *et al.*, 2004; FAO, 2022). A utilização regular de adubos orgânicos contribui para a infiltração e retenção de água, melhora a agregação do solo, favorece a respiração das raízes e promove um ambiente biologicamente ativo e equilibrado, capaz de atender de forma mais eficiente às exigências nutricionais das culturas (Souza *et al.*, 2022; Rivas *et al.*, 2023) (Figura 3).

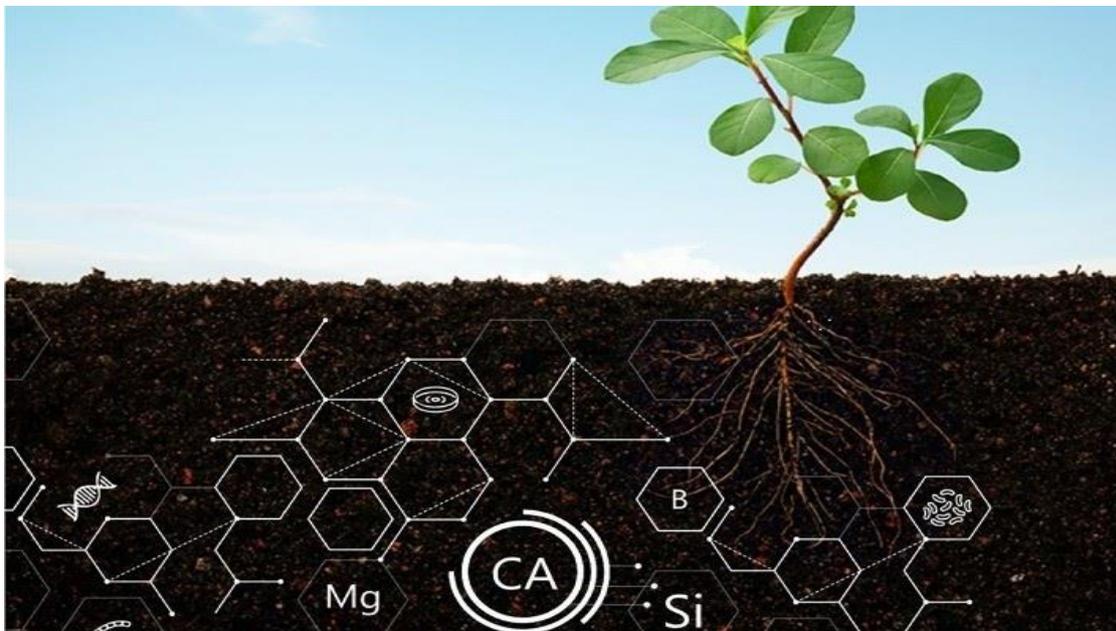


Figura 3. Fertilizantes orgânicos de alta qualidade contribui para aumentar a qualidade do solo e a produtividade das culturas. Fonte: <https://www.portaldogronegocio.com.br/ecologia/organico/>.

Além dos ganhos agronômicos, os adubos orgânicos colaboram para a mitigação dos impactos ambientais da agricultura, reduzindo a dependência de insumos sintéticos, promovendo a reciclagem de resíduos e fortalecendo os princípios da economia circular e da agroecologia.

4. Produção de Bokashi

O Bokashi é um composto orgânico fermentado, utilizado como adubo e condicionador de solo, que se destaca por sua alta eficiência nutricional e capacidade de promover a saúde edáfica. Diferentemente da compostagem tradicional, sua produção envolve um processo fermentativo acelerado por um consórcio de microrganismos benéficos, inoculados em diversas matérias-primas orgânicas (Quiroz; Flores, 2019). Essa técnica favorece a rápida decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes de forma assimilável pelas plantas, além de estimular a microbiota do solo (Homma, 2003; Oliveira *et al.*, 2015; Olle; Williams, 2015; Scotton *et al.*, 2015).

Durante a fermentação, o Bokashi cria um ambiente ideal para a proliferação de microrganismos como bactérias, fungos, actinomicetos, micorrizas e fixadores de nitrogênio (Homma, 2003). Esses microrganismos desempenham papel essencial na mineralização dos nutrientes, na supressão de patógenos e na biofortificação das plantas, potencializando a absorção e a eficiência no uso de nutrientes, bem como melhorando o desempenho fotossintético (Christel, 2017; Kruker *et al.*, 2023; Pian *et al.*, 2023).

A qualidade do Bokashi está diretamente relacionada ao processo de fermentação, que, em sua forma predominante, é do tipo láctica. No entanto, também podem ocorrer fermentações secundárias — acética, alcoólica, propiônica e butírica — que contribuem para a diversidade de compostos bioativos presentes no produto final (Siqueira; Siqueira, 2013; Lim *et al.*, 2022). A escolha das matérias-primas é fundamental para o sucesso do processo. Segundo Pian *et al.* (2023), resíduos como farelo de trigo, casca de café, subprodutos de cervejaria, capim-elefante, farelo de mamona e resíduos de leguminosas apresentam alto potencial fermentativo e boa composição nutricional (Figura 4).



Figura 4. Preparação do composto orgânico Bokashi. Fonte: Acervo do Sítio Recanto da Serra, Peron, 2024.

As formulações de Bokashi têm mostrado efeitos positivos significativos na produtividade e na qualidade de diferentes culturas agrícolas, principalmente em sistemas sustentáveis e orgânicos (Olle, 2021). Sua aplicação frequente melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, reduzindo a dependência de fertilizantes sintéticos e promovendo maior resiliência das plantas (Ribeiro *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2023).

Exemplo prático do uso do Bokashi pode ser observado no Sítio Recanto da Serra, onde a família Peron adaptou a receita do composto às condições locais. O adubo é aplicado como cobertura nas lavouras de café e é produzido com palha de café, cinzas de fogão a lenha, carvão, farelo de mamona, pó de rocha, terra de formiga, garapa, água e uma solução de microrganismos eficazes (EM). A fermentação adotada é anaeróbica: todos os ingredientes são misturados, umedecidos (sem saturação) e armazenados em sacos plásticos de silagem de 50 kg, que são selados hermeticamente e mantidos por um período de 10 a 12 dias. Após esse período, o composto está pronto para uso, apresentando odor suave e coloração escura (Lima Silva *et al.*, 2018; Peron *et al.*, 2024) (Figura 5).

De acordo com Peron (2024), o Bokashi representa uma prática de manejo simples, acessível e de grande eficiência, contribuindo para a sustentabilidade agrícola ao recuperar a saúde do solo, reduzir o uso de insumos externos e

aumentar a produtividade de forma ecológica. Estudos recentes também apontam que o Bokashi pode ser integrado a estratégias de manejo regenerativo do solo, favorecendo o sequestro de carbono e o equilíbrio microbológico em agroecossistemas tropicais (Li *et al.*, 2022; Rivas *et al.*, 2023).



Figura 5. Bokashi ensacamento para fermentação anaeróbica. Fonte: Acervo Sítio Recanto da Serra, Peron, 2020.

5. Bokashi na agricultura

Diversos estudos têm demonstrado os efeitos positivos da aplicação do Bokashi em diferentes contextos agrícolas, revelando seu potencial como biofertilizante promotor do crescimento vegetal e da saúde do solo. Jaramillo-López *et al.* (2015), ao avaliarem a aplicação de Bokashi em mudas de *Pinus pseudostrabus*, observaram taxas de sobrevivência variando entre 87% e 100% — valores significativamente superiores aos registrados em projetos de reflorestamento similares realizados em Michoacán, onde a taxa de sobrevivência variou entre 21% e 46%. Além do aumento na sobrevivência das mudas, o Bokashi contribuiu para a melhoria das propriedades químicas do solo, elevando as concentrações de magnésio e cálcio, nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal.

Os autores também sugerem que a maior resistência das mudas ao estresse de transplante e a condições adversas pode estar relacionada ao incremento de matéria orgânica, que, por sua vez, melhorou a estrutura e a capacidade de retenção hídrica do solo. Esse efeito físico, aliado à liberação

gradual de nutrientes, contribui para um ambiente mais propício ao enraizamento e ao estabelecimento inicial das plantas.

Complementando esses resultados, o estudo conduzido por Abo-Sido *et al.* (2021) avaliou o efeito do Bokashi em mudas de pepino (*Cucumis sativus*) e couve (*Brassica oleracea*), observando ganhos expressivos na biomassa vegetal e no teor de clorofila foliar em comparação com plantas cultivadas em solo nu ou com composto convencional. Além disso, foram detectados aumentos significativos nas concentrações de nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) e fósforo biodisponível, indicando uma liberação mais eficiente e sustentada de nutrientes essenciais.

A análise microbiológica desses solos também revelou o aumento das populações de rizobactérias promotoras do crescimento (PGPRs) e fungos decompositores, que desempenham papel-chave na ciclagem de nutrientes, supressão de patógenos e promoção da saúde do solo. Tais resultados corroboram os benefícios do Bokashi como uma ferramenta multifuncional no manejo agroecológico, promovendo não apenas nutrição vegetal, mas também biodiversidade edáfica (Rivas *et al.*, 2023).

Pagliaccia *et al.* (2024) reforçaram esses achados ao analisarem solos tratados com Bokashi com condutividade elétrica de 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, os quais mantiveram elevados níveis de nitrogênio amoniacal. Essa persistência indica um padrão de liberação lenta e contínua, que favorece o uso eficiente dos nutrientes pelas plantas. A fermentação controlada com microrganismos eficazes (EM) promove a mineralização gradual de compostos orgânicos, resultando em fertilizantes naturalmente enriquecidos e com alta capacidade de liberação sustentada de macro e micronutrientes (Mayer *et al.*, 2010; Joshi *et al.*, 2019; Abo-Sido *et al.*, 2021; Lim *et al.*, 2022).

O nitrogênio amoniacal, presente em compostos orgânicos como o Bokashi, é particularmente importante por ser menos suscetível à lixiviação do que o nitrato, além de ser mais compatível com sistemas de agricultura sustentável e orgânica. Sua presença contribui para uma nutrição vegetal equilibrada, melhora a eficiência do uso de nitrogênio e favorece a construção de um solo mais fértil e resiliente (Li *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023).

Assim, o Bokashi se mostra uma alternativa eficaz aos fertilizantes convencionais, promovendo melhorias agrônômicas e ecológicas expressivas, com potencial para integração em práticas de manejo agroecológico, orgânico e regenerativo (Figura 5).



Figura 5. Bioinsumo protege cultivo de café contra perdas pela estiagem. Fonte: <https://www.comprerural.com/bioinsumo-protege-cultivo-de-cafe-contra-perdas-pela-estiagem/>.

Para esse mesmo autor, com o uso de bioinsumos, especialmente aqueles voltados à melhoria das condições do solo, observa-se um favorecimento direto ao desenvolvimento radicular das plantas. Esse crescimento mais expressivo do sistema radicular possibilita uma maior eficiência na absorção de água e nutrientes disponíveis no solo, resultando em respostas fisiológicas e produtivas mais satisfatórias por parte das plantas de café.

Plantas mais saudáveis tendem a demandar menor uso de defensivos químicos, o que contribui significativamente para a preservação da microbiota do solo e a redução de impactos ambientais negativos. Esse menor consumo de agroquímicos representa ainda uma oportunidade concreta de melhoria da rentabilidade, ao reduzir custos operacionais e mitigar os efeitos nocivos ao ambiente agrícola.

A empresa Korin Agricultura e Meio Ambiente, referência nacional e pioneira na produção de bioinsumos no Brasil, desenvolveu o produto FertPremium/Bokashi, um biofertilizante que promove a revitalização do solo. Esta tecnologia atua diretamente na melhoria das condições biológicas e físico-hídricas do solo, favorecendo o equilíbrio do agroecossistema. Sua formulação contém compostos bioativos com grupos funcionais que estimulam a atividade microbiológica, resultando na otimização do sistema produtivo e na obtenção de colheitas mais abundantes e sustentáveis.

Segundo Cunha, pesquisador da FertPremium, a tecnologia apresenta preparo simples, baixo custo de aplicação e uma série de benefícios adicionais, como a redução da pressão de pragas, a supressão de doenças e a melhoria da qualidade dos produtos colhidos. Quanto mais se utiliza, melhor se torna o solo, afirma o especialista, destacando o potencial cumulativo e regenerativo do insumo. Nesse sentido, o FertPremium/Bokashi configura-se como um bioinsumo essencial para a construção de uma agricultura mais resiliente, eficiente e ambientalmente responsável. Seu uso em lavouras de café do Estado do Espírito Santo apresentaram resultados bastante expressivos.

6. Aspectos econômicos

A adoção de adubos orgânicos fermentados, como o Bokashi, oferece não apenas benefícios agronômicos e ambientais, mas também impactos econômicos significativos, sobretudo para agricultores familiares e produtores orgânicos. A possibilidade de produção local com base em resíduos orgânicos disponíveis na própria propriedade — como restos culturais, esterco animal, palhada, cinzas e outros insumos naturais — torna o Bokashi uma alternativa de baixo custo e alta viabilidade (Pian *et al.*, 2023).

Um dos principais atrativos econômicos do Bokashi está na redução da dependência de fertilizantes químicos, os quais são amplamente importados e sujeitos à volatilidade cambial. Em 2022, por exemplo, o preço médio da tonelada de fertilizantes minerais no Brasil ultrapassou R\$ 4.000, o que comprometeu severamente as margens de lucro dos produtores, especialmente os de café (ANDA, 2022). Nesse contexto, a utilização do Bokashi representa uma

estratégia eficaz para mitigar os riscos associados à alta dos insumos e à instabilidade do mercado internacional.

Além da redução de custos imediatos com fertilizantes externos, o uso contínuo do Bokashi contribui para a melhoria gradual da fertilidade e da estrutura do solo, promovendo o aumento da produtividade e a estabilidade das lavouras ao longo das safras. Olle (2021) ressalta que a adoção de compostos orgânicos fermentados proporciona efeitos cumulativos sobre os atributos físico-químicos e biológicos do solo, o que se reflete positivamente no rendimento e na qualidade dos cultivos.

Na cafeicultura, os efeitos econômicos do Bokashi têm sido particularmente expressivos. No Sítio Recanto da Serra, localizado na região montanhosa do Espírito Santo, a família Peron relatou uma redução de aproximadamente 35% nos custos com adubação após a substituição parcial de fertilizantes químicos por Bokashi produzido na própria propriedade. Essa mudança, além de reduzir gastos, resultou em um incremento médio de 15% na produtividade do café arábica, especialmente em áreas com histórico de baixa fertilidade (Peron, 2024).

Outro aspecto relevante é a possibilidade de geração de renda a partir da fabricação e comercialização do Bokashi por associações, cooperativas e empreendedores rurais. A produção local do biofertilizante, com aproveitamento de resíduos agrícolas, fortalece a economia circular e contribui para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades do campo (Olle, 2021; FAO, 2023). Essa atividade pode se tornar uma fonte complementar de renda, agregando valor a materiais anteriormente descartados e ampliando as oportunidades de trabalho no meio rural.

Estudos apontam que o Bokashi apresenta uma relação custo-benefício favorável, promovendo ganhos econômicos sustentáveis ao melhorar a eficiência do uso de nutrientes, a saúde das plantas e a qualidade da produção. Segundo Jaramillo-López *et al.* (2015), a aplicação do Bokashi em mudas de *Pinus pseudostrubus* não apenas aumentou as taxas de sobrevivência e crescimento, mas também contribuiu para maior uniformidade no desenvolvimento das plantas, atributo valorizado em mercados exigentes como o de cafés especiais.

Dessa forma, a adoção do Bokashi representa uma alternativa viável que alia economia, eficiência agrônômica e sustentabilidade. Sua produção descentralizada, adaptável a diferentes realidades, é especialmente relevante para a agricultura familiar e agroecológica, promovendo autonomia dos produtores em relação aos insumos industriais. Além disso, sua adoção contribui para a construção de sistemas agrícolas resilientes frente às mudanças climáticas e instabilidades de mercado.

Considerando seu potencial econômico e os benefícios ambientais e sociais associados, o uso do Bokashi deve ser incentivado por meio de políticas públicas, programas de extensão rural e linhas de crédito específicas, como forma de impulsionar a transição agroecológica e fortalecer a sustentabilidade da cafeicultura nacional.



Figura 6. Café manejado com braquiária e aplicação de fertibokashi em Garça SP. Fonte: Revista Cafeicultura. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=R2Cf84U12Ng>.

7. Bokashi na cafeicultura

No cenário da agricultura sustentável, o Bokashi tem se consolidado como uma alternativa eficiente aos fertilizantes minerais, especialmente em sistemas de base agroecológica e orgânica. Sua utilização na cafeicultura tem sido objeto

de diversos estudos, que apontam ganhos significativos em produtividade, qualidade dos grãos e resiliência das plantas.

Segundo Rocha *et al.* (2022), a aplicação de Bokashi em lavouras de *Coffea arabica* promoveu aumento nos teores de matéria orgânica do solo, melhoria na porosidade, incremento da atividade microbiana e maior estabilidade de agregados. Esses efeitos resultam em solos mais equilibrados, com maior capacidade de retenção de água e melhor disponibilidade de nutrientes — condições que favorecem o desenvolvimento radicular e aumentam a eficiência no uso de água e fertilizantes.

Estudos como o de Lima *et al.* (2020) também demonstram que o Bokashi contribui para o equilíbrio nutricional das plantas, reduzindo deficiências minerais e otimizando a resposta fisiológica da cultura. Os autores observaram maiores taxas fotossintéticas, maior número de nós produtivos e menor incidência de doenças radiculares em cafeeiros tratados com o composto, atribuindo esses efeitos à presença de microrganismos benéficos, que desempenham papel fundamental na supressão de patógenos e no fortalecimento do sistema imunológico vegetal.

Além dos benefícios agrônômicos, o Bokashi apresenta vantagens econômicas e ambientais. Por ser elaborado a partir de resíduos orgânicos disponíveis localmente — como restos culturais, palhada, esterco e subprodutos agroindustriais —, ele possibilita a reciclagem de nutrientes, reduz o passivo ambiental e diminui a dependência de insumos externos (Carvalho *et al.*, 2021; Ribas *et al.*, 2023). Essas características são particularmente relevantes para agricultores familiares e produtores orgânicos, que buscam maior autonomia e sustentabilidade produtiva.

Outro atributo importante é a capacidade do Bokashi de aumentar a retenção hídrica do solo, o que é fundamental em regiões com irregularidade pluviométrica ou suscetíveis à compactação. Em pesquisa conduzida por Silva *et al.* (2021), constatou-se que a aplicação de Bokashi resultou em solos com maior conteúdo de água disponível e maior estabilidade de agregados, favorecendo a resiliência das plantas durante períodos de estiagem — uma condição cada vez mais frequente nos trópicos diante das mudanças climáticas (FAO, 2023).

Estudos mais recentes reforçam esses achados. Rocha *et al.* (2022) relataram aumentos de produtividade em lavouras de *Coffea arabica* manejadas com Bokashi combinado a outros compostos orgânicos. Já Almeida *et al.* (2023) constataram melhorias na qualidade dos grãos e no crescimento do sistema radicular de *Coffea canephora* (conilon) no Espírito Santo, ao utilizarem diferentes formulações de Bokashi adaptadas às condições edafoclimáticas locais. Em ambos os casos, os efeitos foram atribuídos à sinergia entre nutrientes biodisponíveis e microrganismos eficazes presentes no biofertilizante fermentado.

Dessa forma, o Bokashi configura-se como uma tecnologia de baixo custo, elevada eficácia agrônômica e ampla aplicabilidade na cafeicultura. Seus efeitos positivos sobre a fertilidade do solo, o desempenho fisiológico das plantas e a sustentabilidade dos sistemas produtivos o tornam uma ferramenta estratégica para a transição agroecológica.

Entretanto, para garantir sua eficiência e segurança, é fundamental que a aplicação do Bokashi seja acompanhada de boas práticas de manejo, controle da fermentação e orientação técnica adequada. Com essas precauções, o Bokashi se consolida como uma solução promissora para uma cafeicultura mais resiliente, produtiva e ecológica, alinhada às exigências de mercados sustentáveis e ao enfrentamento dos desafios climáticos contemporâneos.

8. Benefícios agrônômicos, ambientais e econômicos do Bokashi na cafeicultura orgânica e agroecológica

A transição para sistemas de produção mais sustentáveis, como a cafeicultura orgânica e agroecológica, tem se consolidado como resposta às crescentes demandas ambientais, sociais e de mercado por alimentos saudáveis e de origem responsável. Nessa perspectiva, a valorização de insumos locais e práticas que promovam a saúde do ecossistema agrícola é fundamental. O Bokashi, adubo orgânico fermentado de origem japonesa, destaca-se como ferramenta estratégica, alinhada aos princípios agroecológicos e essencial para o êxito do cultivo de cafés sustentáveis (Henz; Suzuki; Vieira, 2007; Silva; Souza, 2021; Ribas *et al.*, 2023).

A base da produção agroecológica reside na vitalidade do solo. Solos ricos em matéria orgânica e com elevada atividade biológica são mais férteis, resilientes e capazes de sustentar a produtividade sem depender intensivamente de fertilizantes sintéticos. O Bokashi contribui diretamente para esse cenário, promovendo o aumento dos teores de carbono orgânico, ativando a microbiota benéfica e melhorando atributos físicos, como a estrutura e a capacidade de retenção de água do solo (Gómez-Velasco *et al.*, 2014; Ribeiro *et al.*, 2022).

Além disso, o Bokashi tem demonstrado ser um insumo valioso na fase de viveiro, quando incorporado à formulação de substratos, favorecendo a produção de mudas mais vigorosas e saudáveis (Lima *et al.*, 2007; Santos, 2019). Essa qualidade inicial tem reflexos diretos na implantação de lavouras mais uniformes e produtivas. A fermentação anaeróbica utilizada na produção do Bokashi conserva nutrientes essenciais, como o nitrogênio, e resulta em uma liberação gradual e equilibrada desses elementos, acompanhando as necessidades fisiológicas da planta ao longo do seu ciclo (Souza, 2023; Christel *et al.*, 2021) (Figura 7).



Figura 7. Bokashi no substrato para produção de mudas de café. Fonte: <https://www.toolbox.coffee/pt-br/tools/206>.

Em culturas perenes como o café, essa dinâmica é especialmente benéfica, pois garante fornecimento contínuo de nutrientes sem os riscos associados a perdas por lixiviação ou volatilização, comuns em fertilizantes solúveis. Estudos realizados em sistemas orgânicos e convencionais na Zona da Mata Mineira demonstram que o manejo da matéria orgânica com compostos fermentados como o Bokashi contribui para manter a produtividade e a sanidade das lavouras, mesmo em solos tropicais intemperizados (Valadares *et al.*, 2009; Teixeira *et al.*, 2018).

Sob a ótica econômica, o Bokashi representa uma alternativa de baixo custo e alto retorno. Sua produção pode ser realizada na própria propriedade com o uso de resíduos agroindustriais ou materiais disponíveis localmente — como palha de café, esterco, cinzas, farelos e restos vegetais —, reduzindo significativamente a dependência de insumos comerciais e os impactos financeiros associados à volatilidade dos preços de fertilizantes químicos (Ricci *et al.*, 2005; Pian *et al.*, 2023). Essa prática também contribui para o fechamento de ciclos de nutrientes, um dos pilares da agroecologia, reforçando a autonomia do agricultor.

Na perspectiva ambiental, o uso do Bokashi contribui para a mitigação das mudanças climáticas ao reduzir a emissão de gases de efeito estufa, minimizar a degradação do solo e promover a ciclagem eficiente de nutrientes. Além disso, fortalece a resiliência das lavouras frente a estresses bióticos e abióticos, como pragas, doenças e déficits hídricos, condições cada vez mais frequentes em função das alterações climáticas (Vilas Boas, 2020; FAO, 2023).

Em síntese, o Bokashi transcende sua função como fertilizante, configurando-se como uma tecnologia agroecológica de múltiplos benefícios. Ao integrar a recuperação da fertilidade do solo, o equilíbrio nutricional das plantas, a redução de custos e o fortalecimento da sustentabilidade produtiva, o Bokashi representa um instrumento fundamental para a consolidação da cafeicultura orgânica e agroecológica no Brasil. Sua adoção deve ser estimulada por políticas públicas e programas de extensão rural, visando a transição para agroecossistemas mais justos, resilientes e integrados ao meio ambiente.

9. Tabelas comparativas entre Bokashi e fertilizantes químicos destacando os principais atributos agronômicos, ambientais e econômicos

Tabela 1. Comparação entre bokashi e fertilizantes químicos: atributos agronômicos e ambientais

Atributos	Bokashi	Fertilizantes Químicos	Referências
Fonte de nutrientes	Matéria orgânica fermentada, rica em nutrientes naturais e microrganismos eficientes	Nutrientes minerais solúveis, sintéticos ou minerais refinados	Olle (2021); Gomes <i>et al.</i> (2021); Kruker <i>et al.</i> (2023)
Liberção de nutrientes	Lenta e gradual, com liberaçõ contínua ao longo do tempo	Rápida, podendo causar lixiviaçõ e perdas por volatilizaçõ	Ribeiro <i>et al.</i> (2015); Abo-Sido <i>et al.</i> (2021)
Melhoria da estrutura do solo	Promove agregaçõ, aumenta a porosidade, retençõ de água e atividade microbiana	Pode causar compactaçõ e reduçõ da matéria orgânica	Villas Bõas <i>et al.</i> (2004); Silva <i>et al.</i> (2021)
Atividade biológica do solo	Estimula microrganismos benéficos, aumentando a biodiversidade microbiana	Pode reduzir a diversidade microbiana, afetando o equilíbrio do solo	Kruker <i>et al.</i> (2023); Gomes <i>et al.</i> (2021)
Resiliência das plantas	Aumenta resistênci a estresses bióticos e abióticos	Pode levar a plantas mais suscetíveis devido ao desequilíbrio nutricional	Jaramillo-López <i>et al.</i> (2015); Lima <i>et al.</i> (2020)
Impacto ambiental	Reduz emissã de gases de efeito estufa, promove reciclagem de resíduos	Alta emissã de gases, poluiçõ hídrica e contaminaçõ do solo	Olle (2021); ANDA (2022); Kruker <i>et al.</i> (2023).

Fonte: Os autores.

Tabela 2. Comparação entre Bokashi e Fertilizantes Químicos: Atributos Econômicos

Atributos	Bokashi	Fertilizantes Químicos	Referências
Custo de produção	Baixo a médio, pode ser produzido localmente com resíduos orgânicos	Alto, dependente de mercado internacional e preço de insumos	Pian <i>et al.</i> (2023); ANDA (2022); Peron (2024)
Dependência externa	Baixa, insumos geralmente locais e reciclados	Alta, muitas vezes importados e sujeitos a variações cambiais	ANDA (2022); Olle (2021)
Retorno financeiro	Retorno gradual com aumento da produtividade e qualidade do solo	Retorno rápido, mas pode exigir aplicações frequentes	Jaramillo-López <i>et al.</i> (2015); Olle (2021)
Sustentabilidade econômica	Alta, favorece economia circular e reduz insumos externos	Baixa, com custos ambientais e sociais elevados que impactam em longo prazo	Ricci <i>et al.</i> (2005); Olle (2021)
Mercado e valor agregado	Potencial para cafés especiais e produção orgânica valorizada	Mercado convencional, menos valorizado em nichos sustentáveis	Almeida <i>et al.</i> (2023); Rocha <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Os autores.

10. Considerações

A crescente demanda global por alimentos de alta qualidade impõe desafios cada vez maiores à agricultura moderna, especialmente no que tange à sustentabilidade dos sistemas produtivos. Práticas convencionais, como a monocultura intensiva e o uso excessivo de fertilizantes químicos, têm provocado impactos e externalidades negativos significativos nos agroecossistemas, comprometendo a saúde do solo, a biodiversidade e as redes tróficas. Esses efeitos resultam em degradação ambiental, com a perda de nutrientes essenciais, redução da capacidade de retenção hídrica e empobrecimento da

diversidade biológica. Frente a esse cenário, a adoção de alternativas sustentáveis, como os biofertilizantes, revela-se uma estratégia eficaz para minimizar tais impactos.

O Bokashi, um biofertilizante produzido por meio da reciclagem de resíduos orgânicos fermentados, destaca-se como uma ferramenta promissora. Sua aplicação tem demonstrado melhorar a fertilidade do solo, incrementar a retenção de água e estimular a atividade microbiana, elementos essenciais para o desenvolvimento saudável das culturas. Além disso, o uso de fertilizantes orgânicos, como o Bokashi, reduz a dependência de insumos químicos, respondendo também à demanda crescente por alimentos mais saudáveis e livres de contaminantes.

Adotar práticas de adubação orgânica representa um passo decisivo rumo a uma agricultura mais ecológica e sustentável. Essas práticas não apenas elevam a produtividade agrícola, mas também desempenham papel crucial na conservação dos ecossistemas. Ao incorporar insumos naturais ao manejo, é possível mitigar os impactos e externalidades ambientais negativos, garantindo a qualidade do solo, a preservação da biodiversidade e a sustentabilidade em longo prazo dos sistemas produtivos.

Entretanto, para que essa transição seja efetiva, é imprescindível que esteja amparada por políticas públicas robustas que fomentem a pesquisa, a educação e a capacitação dos agricultores, sobretudo em regiões ainda dependentes dos fertilizantes químicos. A cooperação entre produtores, pesquisadores e órgãos governamentais é fundamental para acelerar a difusão de práticas sustentáveis, beneficiando não só a produção, mas também as comunidades locais, ao assegurar alimentos de qualidade e o equilíbrio ambiental.

Assim, a implementação de sistemas de manejo sustentável, com ênfase no uso de biofertilizantes tipo Bokashi, é decisivo para atender às demandas contemporâneas por alimentos de qualidade, preservando simultaneamente a saúde do planeta. Com a adoção dessas soluções, vislumbra-se um futuro agrícola mais equilibrado, resiliente e capaz de garantir a segurança alimentar de forma responsável e consciente.

Na cafeicultura, o Bokashi se apresenta como uma prática inovadora que alia viabilidade econômica, ganhos agronômicos e sustentabilidade ambiental. Sua formulação a partir de resíduos orgânicos locais e produção descentralizada favorecem agricultores familiares e sistemas agroecológicos, promovendo a independência de insumos externos e incentivando a economia circular no meio rural. Além disso, contribui significativamente para a melhoria da fertilidade e da estrutura do solo, favorecendo o desenvolvimento radicular, a absorção eficiente de nutrientes e a resiliência das plantas frente a adversidades climáticas.

Sob o ponto de vista econômico, sua adoção tem se mostrado vantajosa ao reduzir custos com fertilizantes convencionais, cujos preços elevados impactam negativamente a rentabilidade da cafeicultura. Ademais, o Bokashi possibilita incrementos na produtividade e na qualidade dos grãos. Relatos de campo e evidências científicas indicam que o uso contínuo desse biofertilizante gera benefícios diretos aos produtores, com impactos positivos na sanidade das plantas, na estabilidade da produção e na valorização dos cafés especiais. Dessa forma, é fundamental incentivar sua utilização por meio de políticas públicas e programas de extensão rural, contribuindo para a construção de sistemas cafeeiros mais sustentáveis, produtivos e resilientes.

11. Referências

ABO-SIDO, A. *et al.* Effect of Bokashi application on growth and nutrient content of cucumber and kale seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n 6, p. 856-868, 2021.

ALMEIDA, R. C. de *et al.* Efeito de diferentes tipos de Bokashi no desenvolvimento de cafeeiros *Coffea canephora*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 45–57, 2023. DOI: 10.18502/rba.v18i1.13492

ALTIERI, M. A. **Agroecology: the science of sustainable agriculture**. CrC press, 2018.

ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Pesquisa Setorial 2022: macro indicadores do mercado de fertilizantes no Brasil**. Disponível em: http://anda.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em: 7 jul. 2025.

ASERI, G. K. *et al.* Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. **Scientia horticultrae**, v. 117, n. 2, p. 130-135, 2008.

CARVALHO, L. R. de *et al.* Adubação orgânica fermentada e saúde do solo na produção de café. **Cadernos de Agroecologia**, v. 16, 2021. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/24639>. Acesso em: 08 jul. 2025.

CASALI, V. **Caderno de microrganismos eficientes**. Viçosa: UFV, 2009. 31 p.

CAVALCANTE, Í. H. L. *et al.* Fertilizantes orgânicos para o cultivo da melancia em Bom Jesus-PI. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 518-524, 2010.

CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, Í. H. L.; SANTOS, G. D. dos. Micronutrient and sodium foliar contents of yellow passion plants as a function of biofertilizers. **Fruits**, v. 63, n. 1, p. 27-36, 2008.

CHRISTEL, D. M. **The use of bokashi as a soil fertility amendment in organic spinach cultivation**. The University of Vermont and State Agricultural College, 2017.

CHRISTEL, W. *et al.* Biochar and bokashi effects on nutrient availability, greenhouse gas emissions, and plant performance: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 2, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00690-2>

DIAS, M. C. *et al.* Compostagem fermentativa tipo bokashi e seus efeitos sobre cultivos de café orgânico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 55, e20220023, 2024. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20240023>

DIAS, R. J. *et al.* Microbial contribution in organic fertilization: mechanisms and benefits. **Applied Soil Ecology**, v. 159, p. 103845, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103845>

ELLIS, J. G.; KERR, A.; MONTAGU, M. van; SCHELL, J. Agrobacterium: genetic studies on agrocin 84 production and the biological control of crown gall. **Physiological Plant Pathology**, v. 15, n. 3, p. 311-319, 1979.

EPAGRI. **Agricultores de Curitiba aprendem a fazer adubo bokashi: confira a receita**. Curitiba, SC. 2021. Disponível em: <<https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/06/22/agricultores-de-curitiba-aprendem-a-fazer-adubo-bokashi-confira-a-receita/>>. Acesso em: 28 set. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Scaling up agroecology to achieve the Sustainable Development Goals**. Rome: FAO, 2023.

FAO. Food and Agriculture Organization. **The Future of Food and Agriculture – Drivers and triggers for transformation**. Rome: FAO, 2022.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Aboneras Tipo Bokashi**. Coleção “Buenas Práticas” - Programa Extraordinário de Apoio à Segurança Alimentar e Nutricional FAO/União Europeia: Cidade da Guatemala, Guatemala, 2011.

GOMES, F. F. *et al.* Biofertilizantes e sustentabilidade na agricultura moderna. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 3, p. 201-218, 2021.

GOMES, J. P. A.; MOULIN, M. M.; SOUZA, M. N.; SANTOS JÚNIOR, A. C. Uso de microrganismos eficientes como alternativa para agricultura sustentável: um referencial teórico. **Agroecologia: Métodos e Técnicas para uma Agricultura Sustentável**, v. 5, p. 340-355, 2021.

GÓMEZ-VELASCO, D. A. *et al.* Enzymatic Activities in Soil Cultivated with Coffee (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon') and Amended with Organic Material. **Journal of Agricultural Science and Technology**, 2014.

HENZ, G. P.; SUZUKI, A.; VIEIRA, J. V. **Cultivo do Café Orgânico**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 46).

HOMMA, S. K. **Nutri-bokashi em respeito à natureza**. Fundação Mokiti Okada, São Paulo, 2003.

HUNDLEY, G. M. C. *et al.* Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo para o crescimento de manjerição (*Origanum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de aquaponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 2013.

IPCC. **Sixth Assessment Report: Climate Change 2023 – Mitigation of Climate Change**. Geneva: IPCC, 2023.

IPES-Food. **The Case for Agroecology: Sustaining food systems for people and the planet**. Brussels: IPES-Food, 2023.

JACOB, L. B. **Agroecologia na universidade: entre vozes e silenciamentos**. Appris Editora e Livraria Eireli-ME, 2016.

JARAMILLO-LÓPEZ, P. F. *et al.* Evaluation of Bokashi application in the growth of *Pinus pseudostrobus* Lindl. seedlings in Mexico. **Agrociencia**, v. 49, n. 4, p. 423-434, 2015.

JARAMILLO-LÓPEZ, P. F.; RAMÍREZ, M. I.; PÉREZ-SALICRUP, D. R. Impacts of Bokashi on survival and growth rates of *Pinus pseudostrobus* in community reforestation projects. **Journal of Environmental Management**, v. 150, p. 48-56, 2015.

JOSHI, H.; SOMDUTTAND, C. P.; MUNDRA, S. L. Role of effective microorganisms (EM) in sustainable agriculture. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 3, p. 172-181, 2019.

JUSOH, M. L. C.; MANAF, L. A.; LATIFF, P. A. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. **Iranian journal of environmental health science & engineering**, v. 10, p. 1-9, 2013.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. 492 p.

KORIN. **Cafeicultor francano reduz custo de produção de café utilizando Korin bokashi**. Korin 25 anos. Disponível em: <<http://www.korin.com.br/blog/cafeicultor-francano-reduz-custo-de-producao-de-cafe-utilizando-bokashi/>>.

KRUKER, G.; GUIDI, E. S.; SANTOS, J. M. da S. dos S.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. de. Qualidade de formulações de biofertilizantes do tipo Bokashi e sua aplicação na produção de vegetais em sistema ecológico. **Horticulturae**, Lages, v. 9, n. 12, p. 1314, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121314>.

LASMINI, S. A.; BURHANUDDIN NASIR, B ; HAYATI, N. ; EDY, N. Improvement of soil quality using bokashi composting and NPK fertilizer to increase shallot yield on dry land. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 11, p. 1743-1749, 2018.

LI, Y. *et al.* Biofertilizers as a sustainable approach to improve soil health and crop productivity: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 330, p. 129834, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129834>

LIM, S. L. *et al.* Advances in fermented organic fertilizers: microbial ecology and agronomic effects. **Biological Fertility of Soils**, v. 58, p. 679-692, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00374-022-01626-4>.

LIMA SILVA, P. N. de; LANNA, N. de B. L.; CARDOSO, A. I. I. Doses de bokashi em cobertura na produção de beterraba. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 1, p. 28-34, 2018.

LIMA, D. P. *et al.* Diferentes substratos para produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Obatã). In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2007.

LIMA, G. F. *et al.* Efeito do Bokashi sobre o crescimento e nutrição do cafeeiro em sistema agroecológico. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 16, n. 3, p. 55–63, 2020. DOI: 10.30969/acsa.v16i3.1172.

LIMA, J. F. *et al.* Physiological responses of coffee plants to Bokashi application. **Crop Science**, v. 60, n. 1, p. 220-229, 2020.

LOPES, A. S. *et al.* Biofertilizantes na agricultura tropical: potencialidades e limitações. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 1, p. 1–12, 2022.

MA, HAI-KUN; PINEDA, A.; WURFF, A. W. G. van der; RAAIJMAKERS, C.; BEZEMER, T. M. Plant–soil feedback effects on growth, defense and susceptibility to a soil-borne disease in a cut flower crop: species and functional group effects. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 2127, 2017.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e Adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. *et al.* **A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente**. 2020.

MATOS, N. C. da S. *et al.* Percepção de agricultura sustentável no município de Maringá, Paraná, Brasil. **Interações (Campo Grande)**, v. 22, n. 1, p. 243-262, 2021.

MAYER, J. *et al.* How effective are 'Effective microorganisms®(EM)'? Results from a field study in temperate climate. **Applied soil ecology**, v. 46, n. 2, p. 230-239, 2010.

MENEZES, L. *et al.* Uso de adubos orgânicos na cafeicultura de base agroecológica. **Cadernos de Agroecologia**, v. 16, n. 4, 2022.

MESQUITA, E. F. de; MESQUITA, E. F. de; CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H. L.; ARAÚJO, F. A. R. de; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; GONDIM, S. C. Produtividade e qualidade de frutos do mamoeiro em função de tipos e doses de biofertilizantes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 4, p. 589-596, 2007.

MIGUEL, M. A. L.; LEITE, A. M. Kefir: o iogurte do século XXI. **Animal Business-Brasil**. Rio de Janeiro, SNA, ano 3, n. 11, p. 11-16, 2013.

MOREIRA, V. R. R. Biofertilizante. **Fichas agroecológicas tecnologias apropriadas para agricultura orgânica**. MAPA. ed. 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-fertilidade-do-solo/4-biofertilizante.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2021.

OLLE, M. Bokashi as an organic amendment: agronomic and environmental benefits. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, n. 312, p. 107341, 2021.

OLLE, M.; WILLIAMS, I. The influence of effective microorganisms on the growth and nitrate content of vegetable transplants. **J. Adv. Agric. Technol**, v. 2, n. 1, 2015.

PAGLIACCIA, D. *et al.* Enhancing soil health and nutrient availability for Carrizo citrange (X Citroncirus sp.) through bokashi and biochar amendments: An exploration into indoor sustainable soil ecosystem management. **Scientia Horticulturae**, v. 326, p. 112661, 2024.

PERON, A. **Uso de Bokashi na cafeicultura familiar do Espírito Santo**. Relatório técnico, Sítio Recanto da Serra. 2024.

PERON, I. B. **Estudo de caso da transição da cafeicultura convencional para a orgânica**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia). Programa de Pós-graduação em Agroecologia. Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. 2024. 81 p.

PERON, I. B.; SOUZA, M. N.; LOUBACK, G. C.; PINHEIRO, A. C. M.; XAVIER, S. A. B.; EGIDIO, L. S. Produção de café arábica em sistema de manejo orgânico no sítio Recanto da Serra, Espera Feliz, MG. p. 73. 2024. In: VIEIRA, L. H. S.; VARNIER, E. *et al.* (Org.) **Coletânea Multicampi de trabalhos em Pesquisa, Extensão e Ensino: IFES Alegre, Itapina e Santa Teresa / Larissa Haddad Souza Vieira, Eduardo Varnier *et al.* (organizadores) – Curitiba: CRV, 2024. 326**

p. (Coleção Produção Acadêmica – Ifes em Rede – v. 2). ISBN Volume Digital 978-65-251-5792-4. DOI 10.24824/978652515795.5.

PERON, R. **Produção e uso de Bokashi na cafeicultura de montanha**. Acervo pessoal do Sítio Recanto da Serra. Espírito Santo, 2024.

PIAN, L. B. *et al.* Characterization, nitrogen availability, and agronomic efficiency of fermented composts in organic vegetable production. **Organic Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 461-481, 2023.

PIAN, R. *et al.* Uso de compostos fermentados tipo bokashi na agricultura sustentável. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 2, p. 45-57, 2023.

QUIROZ, M.; FLORES, F. Nitrogen availability, maturity and stability of bokashi-type fertilizers elaborated with different feedstocks of animal origin. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 6, p. 867-875, 2019.

RIBAS, R. F. *et al.* Biofertilizantes fermentados na cafeicultura: viabilidade técnica e impactos ecológicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 1–12, 2023.

RIBEIRO, A. P.; SANTOS, A. T. B.; MELLO, E. R.; BARRETO, F. G.; NOCERA, D.; PEREIRA, M. C.; ELTETO, Y. M.; ALVES, M. B.; COELHO, F. M. G. Bokashi e EM “**Fermentos da vida**”. UFV Viçosa, 2015, 13 p.

RIBEIRO, R. A. *et al.* Bokashi como indutor de qualidade física e microbiológica do solo em sistemas agroflorestais. **Agroecologia Hoje**, v. 6, n. 2, p. 44–55, 2022.

RICCI, M. S. F. *et al.* **Cafeicultura Orgânica**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 201).

RIVAS, R. *et al.* Fermented organic amendments and microbial consortia improve plant growth, soil health and carbon sequestration. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 351, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108423>

ROCHA, A. M. *et al.* Adubação orgânica com Bokashi em cafezais de montanha: efeitos sobre solo e produtividade. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 16, n. 2, p. 77-86, 2022. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v16i2.10347

RODRIGUES, T. R. D. *et al.* Desenvolvimento da cultura do milho submetida a fertilizantes orgânicos e minerais. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 509-514, 2012.

SALISU, M. A. *et al.* Water use efficiency, plant growth and vegetative traits of rubber ('*Hevea brasiliensis*') seedlings grown using different growing media and water levels. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 9, p. 1497-1505, 2020.

SANTOS, C. E. M. **Ação do biofertilizante fertibokashi sobre mudas de café arábica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) –

Universidade Anhanguera-Uniderp, Campo Grande, 2019. Disponível em: consorciopesquisacafe.com.br. Acesso em: 12 jun. 2025.

SANTOS, R. S. Alimentos convencionais, orgânicos, hidropônicos e transgênicos, qual a diferença. **Portal AgroDebate**, 2013.

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N. **Produção de café orgânico**: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural. Novas Edições Acadêmicas: Beau Bassin, Mauritius, 2021. 72p. ISBN: 978-620-2-80825-2.

SILVA, M. L.; ANDRADE, D. S. Biofertilizantes e sua contribuição para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 1, p. 134-144, 2022.

SILVA, R. A. *et al.* Economia circular e produção orgânica: análise do uso de compostos fermentados em propriedades familiares. **Cadernos de Agroecologia**, v. 17, n. 2, 2022.

SILVA, R. *et al.* Soil aggregation and water retention influenced by Bokashi application. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 4, p. 1112-1121, 2021.

SILVA, R. M. da *et al.* Bokashi como condicionador de solo e estimulante fisiológico em cultivos perenes. **Boletim Técnico Agroecológico**, v. 5, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://boletimtecnico.ifes.edu.br/bokashi-soil>. Acesso em: 08 jul. 2025.

SINGH, J. S.; PANDEY, V. C.; SINGH, D. P. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 140, n. 3-4, p. 339-353, 2011.

SIQUEIRA, A. P. P. de; SIQUEIRA, M. F. B. de. Bokashi: adubo orgânico fermentado. **Niterói: Programa Rio Rural**, v. 16, 2013.

SORRENTINO, M. *et al.* Alfabetização Agroecológica Ambientalista: interpretando e transformando o socioambiente local e global. **Como construir políticas públicas de educação ambiental para sociedades sustentáveis?** 2015.

SOUZA, A. C. de *et al.* Produção e uso de Bokashi: fundamentos técnicos e aplicações na agricultura sustentável. **Scientia Agraria**, v. 22, n. 1, p. 89–98, 2021. DOI: 10.5380/rsa.v22i1.78962

SOUZA, E. L. de S.; SOUZA, M. N.; PELUZIO, T. M. O.; OLIVEIRA, A. de F. M. de; CARVALHO, R. C. B.; SILVA, E. P. da; LIMA, O. de A.; NOVAES, C. A. de; NOVAES, G. A. de. Desafios e perspectivas da agroecologia para alcançar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas. Vol. IX.** – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. p. 45-69. ISBN: 978-65-84548-33-6. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c1>.

SOUZA, I. I. de M.; PERON, I. B.; OLIVEIRA, C. de; LOUBACK, G. C.; EGIDIO, L. S.; CRESPO, A. M.; BISPO, V. dos S. C.; TRUGILHO, G. A.; SOUZA, M. N. Aspectos fundamentais da transição agroecológica. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental. Vol. I.** Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 130-165. ISBN: 978-65-84548-22-0. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0.c4>.

SOUZA, J. L. de. **Bokashi orgânico: o que é, como preparar e como aplicar.** Cursos CPT, 2023.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental. Vol. III.** Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. 311 p. ISBN: 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5>.

SOUZA, T. R. et al. Organic fertilizers in tropical soils: Effects on soil quality and crop productivity. **Agronomy**, v. 12, n. 3, p. 722, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030722>.

TEIXEIRA, A. H. C. et al. Cultivo orgânico e convencional de café conilon na Zona da Mata, MG. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

VALADARES, R. V. et al. Uso de compostos orgânicos no plantio do cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, n. 4, p. 493-500, jul./ago. 2009.

VILAS BOAS, L. G. A cafeicultura na região de planejamento Sul de Minas e no município de Nepomuceno, Minas Gerais. **Revista de la Asociación de Geógrafos Españoles**, n. 87, p. 1-18, 2020.

VILLAS BÔAS, R. L.; PASSOS, J. C.; FERNANDES, M.; BÜLL, L. T.; CEZAR, V. R. S.; GOTO, R. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, n. 22, p. 28-34, 2004.

WANG, D. et al. Organic amendments and biofertilizer synergism enhances soil microbial diversity and crop productivity. **Science of the Total Environment**, v. 871, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162074>.

WIJAYANTO, T. et al. Agricultural wastes based-organic fertilizers (Bokashi) improve the growth and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Int. J. Agric. Sci**, v. 1, p. 27-32, 2016.

Transição agroecológica e qualidade: a nova dinâmica da cafeicultura do *coffea canephora* no Espírito Santo

Douglas Gonzaga de Sousa, José Elias Alves Adão, Karenn Zavarize Bermond, Laís Viana Bruneli, Mayra da Silva Polastrelli Lima, Lucas de Brites Senra, Fernanda Barcelos de Paula, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c7>

Resumo

No Espírito Santo, a cafeicultura está presente em todos os municípios, sendo a principal atividade agrícola em cerca de 60 mil propriedades rurais, com destaque para a agricultura familiar, que representa 70% dos produtores. O Estado é o maior produtor brasileiro de café conilon, responsável por aproximadamente 65,86% da produção nacional em 2022. Tradicionalmente cultivado em regiões de baixa altitude e clima mais quente, o conilon tem despertado interesse em zonas de transição, caracterizadas por altitudes superiores a 500 m e temperaturas mais amenas, devido às mudanças climáticas e à necessidade de diversificação produtiva. Esta revisão analisou estudos sobre o desempenho do conilon em áreas de altitude no Espírito Santo, apontando evidências de que alguns clones apresentam bom potencial produtivo e adaptativo nessas condições. Conclui-se que, embora promissor, o cultivo de conilon em altitude requer mais pesquisas para comprovar sua viabilidade agrônômica e econômica.

Palavras-chave: Conilon. Zona de transição. Altitude. Qualidade. Cafeicultura familiar. Adaptação climática. Produtividade. Café especial.

1. Introdução

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, desempenhando papel central na cadeia global da cafeicultura. Dentro desse contexto, o Estado do Espírito Santo destaca-se por possuir a maior área cultivada com *Coffea canephora*, também conhecido como café conilon no Brasil, além de ocupar posição relevante na produção de *Coffea arabica*, sendo o segundo maior produtor nacional da cultura (CONAB, 2022). A cafeicultura é considerada a principal atividade agrícola socioeconômica capixaba, presente em todos os municípios e responsável pela geração de emprego e renda para aproximadamente 130 mil famílias, das quais cerca de 70% são de base familiar (INCAPER, 2021).

A espécie *C. canephora* é perene, alógama e apresenta alta rusticidade, adaptando-se bem a temperaturas médias entre 22°C e 26°C, com maior produtividade em altitudes inferiores a 500 metros — condições semelhantes às do seu centro de origem, na África Ocidental (Ferrão *et al.*, 2007). Já o *C. arabica* é recomendado para regiões com altitudes superiores a 500 m e temperaturas médias anuais entre 18°C e 22°C, o que favorece a qualidade sensorial da bebida (Pezzopane *et al.*, 2012).

Tradicionalmente, o cultivo de conilon no Espírito Santo tem se concentrado nas regiões Norte e Noroeste do estado, em altitudes mais baixas e sob condições de maior estresse hídrico, com déficit pluviométrico anual em torno de 200 mm (CECAFÉ, 2021). No entanto, diante das mudanças no regime climático e da crescente pressão sobre a produção agrícola, tem-se observado a expansão do conilon para áreas mais elevadas, conhecidas como zonas de transição, onde predominam temperaturas mais amenas e altitudes superiores a 500 m.

A sensibilidade do cafeeiro às variações climáticas é amplamente reconhecida, sendo o clima um dos principais fatores limitantes para sua produtividade e qualidade (Zuluaga *et al.*, 2015). Modificações nos padrões de temperatura e precipitação podem impactar significativamente o zoneamento agroclimático da cultura, exigindo a reavaliação de estratégias de manejo e de seleção de cultivares adaptadas a novos ambientes (Assad *et al.*, 2004).

Nesse contexto, torna-se relevante investigar o desempenho agrônômico de *C. canephora* em áreas de maior altitude, onde já se observam experimentações promissoras no Espírito Santo. A possibilidade de se produzir conilon em condições climáticas diferenciadas pode representar não apenas uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas, mas também uma oportunidade para a produção de cafés especiais, com maior valor agregado (Marcolan *et al.*, 2018).

Dessa forma, a presente revisão tem como objetivo analisar os estudos disponíveis sobre a produtividade e a qualidade do *C. canephora* em regiões de maior altitude no Espírito Santo, discutindo a viabilidade agrônômica e econômica do cultivo do conilon em zonas de transição.

2. Origem do cafeeiro, características morfológicas e edafoclimáticas, e panorama geral da cafeicultura

Atualmente, são reconhecidas 124 espécies pertencentes ao gênero *Coffea*, porém apenas duas detêm relevância econômica global: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, que juntas respondem por quase toda a produção mundial de café (Davis *et al.*, 2011). O cafeeiro é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, com ampla distribuição geográfica e relevante papel socioeconômico, sobretudo nos países tropicais.

O centro de origem do cafeeiro localiza-se no continente africano, especificamente nas regiões que atualmente compreendem a Etiópia e a República Democrática do Congo. Nessas áreas, plantas de café crescem de forma espontânea no sub-bosque de florestas caducifólias, sob moderado sombreamento, o que evidencia sua adaptação a ambientes com luminosidade filtrada e solos ricos em matéria orgânica (Shalene *et al.*, 2014).

Taxonomicamente, o cafeeiro pertence ao Reino Plantae, Divisão Magnoliophyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Gentianales, Família Rubiaceae e Gênero *Coffea*. A família Rubiaceae, por sua vez, é composta por aproximadamente 10 mil espécies, distribuídas em cerca de 630 gêneros, sendo uma das mais diversas entre as dicotiledôneas tropicais (Melo; Sousa, 2011).

As espécies de *Coffea* apresentam características morfológicas típicas de plantas lenhosas, com folhas opostas, simples e coriáceas, além de flores hermafroditas, pequenas e de coloração branca. Quanto aos requisitos edafoclimáticos, a cultura do café exige solos bem drenados, de textura média a argilosa, com boa fertilidade natural e pH levemente ácido. A temperatura ideal para o cultivo varia de acordo com a espécie: *C. arabica* desenvolve-se melhor em altitudes elevadas, com temperaturas médias entre 18°C e 22°C, enquanto *C. canephora* é mais rústico e adapta-se a regiões de menor altitude, com temperaturas médias entre 22 °C e 26 °C.

Diante da importância econômica e ambiental da cafeicultura, compreender as origens, as exigências ecológicas e o comportamento das espécies do gênero *Coffea* em diferentes ambientes são essenciais para o manejo sustentável da cultura e para a adaptação frente às mudanças climáticas (Figura 1).



Figura 1. Taxonomia atualizada do *Coffea canephora* (NCBI). Fonte: Adão, 2025.

Conforme a classificação proposta por Bridson e Verdcourt (1988), as espécies conhecidas como cafeeiros agrupam-se em dois gêneros: *Psilanthus* Hook. e *Coffea* L., diferenciando-se principalmente pelas estruturas florais. O gênero *Coffea* compreende cerca de 124 espécies descritas na literatura, organizadas em quatro seções botânicas: Eucoffea, Mascarocoffea, Argocoffea e Paracoffea (Davis *et al.*, 2011; Melo; Sousa, 2011).

Dentre essas seções, destaca-se a *Eucoffea*, por incluir as duas espécies de maior importância econômica e comercial no mercado mundial: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, popularmente conhecidas como café arábica e café conilon, respectivamente. Juntas, essas espécies representam aproximadamente 60 a 70% (*C. arabica*) e 30 a 40% (*C. canephora*) do volume de café comercializado globalmente (Melo; Sousa, 2011; Ferrão *et al.*, 2017).

O cafeeiro, de maneira geral, é uma planta arbustiva de porte médio a baixo, com crescimento contínuo e caule cilíndrico de madeira dura, coloração branco-amarelada e sistema de ramificação dimórfico, composto por ramos ortotrópicos (de crescimento vertical) e plagiotrópicos (de crescimento horizontal, produtivos). Suas folhas são dispostas em pares opostos (filotaxia oposta), simples, de bordas inteiras e consistência coriácea. As flores são brancas, aromáticas, geralmente reunidas de 2 a 6 em glomérulos axilares, abrindo-se nas primeiras horas da manhã e permanecendo abertas ao longo do dia (Melo; Sousa, 2011) (Figura 2).



Figura 2. Café conilon em produção, Rive, Alegre, ES. Fonte: Caparaó Jr., 2025.

De acordo com esses mesmos autores, o fruto é do tipo drupa, carnoso, desenvolvido a partir de um ovário bicarpelar, geralmente contendo duas sementes oblongas, dispostas plano-convexamente, quando ambos os óvulos são fecundados. Caso apenas um óvulo seja fecundado, forma-se a semente do tipo moca, arredondada e de maior volume. O fruto apresenta pedúnculo curto, formato ligeiramente oval ou elíptico e coloração variável conforme a cultivar, passando do verde, quando imaturo, para tons de vermelho ou amarelo na maturação.

No que diz respeito às características morfológicas e reprodutivas, *C. canephora* diferencia-se significativamente de *C. arabica*. Trata-se de uma espécie mais robusta, frequentemente com múltiplos caules por planta, o que torna a poda de condução essencial para o bom desenvolvimento da lavoura. Suas folhas são maiores, mais onduladas e de coloração verde mais clara. Ao contrário do *C. arabica*, que é autógamo e tetraploide ($2n = 4x = 44$), o *C. canephora* é alógamo e diploide ($2n = 2x = 22$), apresentando flores autoincompatíveis que exigem polinização cruzada, o que contribui para sua ampla variabilidade genética.

Os frutos do *C. canephora* tendem a ser menores e mais esféricos, com coloração variada na maturação. A planta pode atingir até 5 metros de altura, dependendo das condições ambientais. Suas folhas são elíptico-lanceoladas, com nervação penínérvea bem saliente. A filotaxia é oposta, e as flores, brancas, ocorrem em maior número por inflorescência e por axila foliar. A composição química dos grãos também difere: o *C. canephora* apresenta teor de cafeína aproximadamente duas vezes superior ao do *C. arabica* (Ferrão *et al.*, 2017; Ferrão *et al.*, 2021) (Figura 3).

A espécie *C. canephora* apresenta ampla distribuição geográfica, sendo particularmente adaptada a regiões de clima quente e úmido, preferencialmente em áreas de baixa altitude, típicas de florestas tropicais. Trata-se de uma planta com hábito gregário, caracterizada pela florada simultânea das plantas dentro de uma mesma região geográfica, o que favorece a uniformidade na colheita. Atualmente, *C. canephora* é considerada a segunda espécie mais cultivada do

gênero *Coffea* no mundo, ficando atrás apenas de *C. arabica* (Ferrão *et al.*, 2017).



Figura 3. Representação de uma planta de *Coffea canephora* e outra de *Coffea arábica*. Fonte: OpenAI, 2025.

A espécie *C. canephora* apresenta ampla distribuição geográfica, sendo particularmente adaptada a regiões de clima quente e úmido, preferencialmente em áreas de baixa altitude, típicas de florestas tropicais. Trata-se de uma planta com hábito gregário, caracterizada pela florada simultânea das plantas dentro de uma mesma região geográfica, o que favorece a uniformidade na colheita. Atualmente, *C. canephora* é considerada a segunda espécie mais cultivada do gênero *Coffea* no mundo, ficando atrás apenas de *C. arabica* (Ferrão *et al.*, 2017).

O cultivo de *C. canephora* está presente em diversos continentes, com destaque para as Américas, especialmente o Brasil. No país, a espécie é comumente cultivada em altitudes que variam de 50 a 550 m acima do nível do mar, sob temperaturas médias anuais entre 22°C e 26°C. Em contraste, *C. arabica* é uma espécie alotetraploide ($2n = 4x = 44$), autógama, recomendada

para altitudes entre 600 e 1.200 m, com temperatura média variando de 16°C a 22°C (Ferrão *et al.*, 2017; Veloso *et al.*, 2023).

3. Valorização e crescimento de *C. canephora*

Nas últimas três décadas, observou-se um expressivo avanço na produção, na produtividade e na valorização de *C. canephora*, tanto no Brasil quanto em nível mundial. Esse crescimento tem sido impulsionado pelo desenvolvimento e difusão de tecnologias, bem como pela articulação entre os diversos agentes envolvidos na cadeia produtiva do café, como instituições de pesquisa, extensão rural, cooperativas, agroindústrias e produtores (Ferrão *et al.*, 2017, 2. ed.).

Atualmente, o Brasil ocupa posição de liderança mundial na produção e exportação de café, além de ser o segundo maior consumidor da bebida (Santos *et al.*, 2015). A introdução da espécie *C. canephora* no país ocorreu, segundo Ferrão *et al.* (2017), por meio do Estado do Espírito Santo, mais precisamente no município de Cachoeiro de Itapemirim, em 1912. Supõe-se que o nome "conilon" tenha se originado da adaptação fonética do nome de um ribeirão africano chamado "Kouillou", cujas letras "K" e "U" foram substituídas por "C" e "N". No entanto, o Instituto Brasileiro do Café (IBC) apresenta uma versão alternativa, indicando que a introdução da espécie teria ocorrido por volta de 1925, revelando uma lacuna histórica quanto à exata data de sua chegada ao território brasileiro.

No território brasileiro, entre os estados que se destacam no *ranking* de produtividade cafeeira, Minas Gerais ocupa a primeira posição na produção de *Coffea arabica*, enquanto o Espírito Santo lidera a produção de conilon (*Coffea canephora*), sendo responsável por cerca de 70% da produção nacional, com produtividade média de 41,5 sacas ha⁻¹ em 2022. Em relação às lavouras em produção, cerca de 1.452,6 mil hectares foram destinados ao cultivo de café arábica e 389 mil hectares ao conilon. A média de produtividade nacional foi de 27,7 sacas ha⁻¹, estimando-se 46,8 sacas ha⁻¹ para o conilon, o que representou um aumento de quase 8% em comparação à safra de 2021 (CONAB, 2023).

Nos últimos dez anos, o café conilon capixaba apresentou notável evolução nos padrões de qualidade, resultado de esforços voltados à conscientização e à

adoção de boas práticas agrícolas, especialmente nos processos de colheita e pós-colheita (Adão, 2024). Consideráveis investimentos vêm sendo realizados com o objetivo de aprimorar a qualidade do produto, fortalecer os mercados já conquistados — tanto nacional quanto internacionalmente — e aumentar a lucratividade da atividade (Marré *et al.*, 2021) (Figura 4).



Figura 4. Lavouras recém-implantadas de café conilon: Feliz Lembrança, Alegre, ES - assistência técnica e uso de novas tecnologias. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2025.

A demanda por cafés de excelência obtidos a partir do *Coffea canephora* tem crescido significativamente, impulsionada por consumidores que buscam bebidas livres de defeitos, limpas, sem fermentações indesejadas e com características sensoriais agradáveis (Filho *et al.*, 2020).

Desde 1985, o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) conduz um Programa de Melhoramento Genético do conilon (Ferrão, 2004), reconhecendo a importância econômica, social e cultural do café para o estado, especialmente por sua capacidade de gerar emprego e renda, promover a permanência das famílias no campo e preservar valores históricos (Garcia *et al.*, 2015).

Dos 78 municípios capixabas, apenas a capital Vitória não possui atividade cafeicultora. Nos demais, o cultivo do café é a principal atividade em 80% dos municípios, respondendo por 43% do PIB agrícola estadual. O agronegócio representa mais de 30% do Produto Interno Bruto (PIB) do Espírito Santo e

envolve cerca de 40% da população economicamente ativa, dos quais 28% estão diretamente ligados à produção de café. A cafeicultura gera, anualmente, cerca de 400 mil postos de trabalho no estado (Tomaz *et al.*, 2011; Garcia *et al.*, 2015).

Atualmente, observa-se a expansão do cultivo de conilon para regiões de transição, em altitudes próximas aos 600 metros acima do nível do mar. Essa mudança está associada às alterações climáticas, como o aumento das temperaturas em áreas de montanha do Espírito Santo. Esse novo cenário pode representar uma oportunidade estratégica para a cafeicultura brasileira, uma vez que o cultivo de *C. canephora* em altitudes elevadas tem demonstrado bom desempenho produtivo e abre novas perspectivas de mercado.

4. Mudanças climáticas e o cultivo do café conilon em altitudes elevadas

Nas últimas décadas, o planeta tem vivenciado alterações climáticas significativas, caracterizadas por ondas de calor extremo, aumento da temperatura média anual e desequilíbrios na precipitação – com períodos de estiagem prolongados intercalados por chuvas de alta intensidade. Esses fenômenos são, em grande parte, consequência do uso inadequado do solo, do desmatamento excessivo, das queimadas voltadas à expansão agrícola e da intensificação da urbanização, que acarreta elevados níveis de emissão de poluentes atmosféricos (Souza *et al.*, 2012; Sousa *et al.*, 2025).

Diante desse novo cenário climático, diferentes setores produtivos, especialmente a agricultura, vêm sendo pressionados a se adaptar. Muitas culturas apresentam exigências edafoclimáticas específicas, que determinam sua viabilidade em determinadas regiões. Um exemplo disso é o cultivo de *C. canephora* em áreas de maior altitude, tradicionalmente destinadas ao cultivo de *C. arabica*.

Fatores como radiação solar, temperatura, exposição solar e regime pluviométrico são determinantes para o desenvolvimento do cafeeiro. A espécie *C. arabica*, mais sensível a variações ambientais, apresenta melhor desempenho em regiões com temperaturas amenas (média anual entre 16 °C e 22 °C) e precipitação acima de 1.500 mm, sendo menos tolerante ao estresse

térmico e hídrico. Condições adversas impactam diretamente sua fisiologia, prejudicando a síntese de metabólitos, a integridade das células foliares e a organização de polissacarídeos na parede celular.

Por outro lado, *C. canephora* destaca-se por sua rusticidade. Adaptada a temperaturas mais elevadas e a ambientes com menor disponibilidade hídrica, essa espécie é naturalmente mais resistente a doenças e pragas. A variedade "robusta", pertencente a *C. canephora*, expressa justamente essas características de resistência e vigor vegetativo.

Estudos conduzidos por Ferrão *et al.* (2021), na Fazenda Experimental de Venda Nova do Imigrante (FEVN), no Espírito Santo, avaliaram a adaptação de 23 clones de conilon em condições de altitude (720 m). Ao longo de cinco anos, oito clones se destacaram com produtividade entre 35 e 50 sacas ha⁻¹, superando, inclusive, a testemunha de *C. arabica*. Esses resultados reforçam a variabilidade genética presente no conilon, com potencial adaptativo às regiões de clima mais ameno e maior altitude.

Os autores observaram que, em altitudes elevadas, o ciclo reprodutivo do conilon é alongado, com maturação dos frutos mais tardia, comportamento semelhante ao do arábica. A avaliação dos clones demonstrou que o desempenho produtivo e o comportamento fisiológico em altitudes maiores diferem significativamente daquele observado em regiões tradicionais de cultivo de conilon, situadas em altitudes mais baixas.

Resultados semelhantes foram relatados por Riva-Souza *et al.* (2019), que avaliaram a produtividade de 23 clones de conilon em ambiente de altitude. As produtividades variaram de 0,27 a 32,64 sacas ha⁻¹, com média de 18,24 sacas ha⁻¹. Em comparação, a cultivar Catuaí IAC 81, de *C. arabica*, apresentou desempenho inferior, com média abaixo de 16 sacas ha⁻¹ nas mesmas condições experimentais, reforçando a viabilidade de clones de conilon em zonas de transição.

Outros estudos corroboram esses achados. Ramalho *et al.* (2018), ao analisarem os cultivares Icatu (*C. arabica*) e Apatã e Obatã (*C. canephora*), constataram a atuação eficiente do sistema antioxidativo frente ao estresse por frio e seca, evidenciando a importância da resposta fisiológica da planta a

condições extremas. Já Martins *et al.* (2019) destacaram seis genótipos de *C. canephora* com elevado desempenho, adaptabilidade e estabilidade produtiva em áreas com temperatura mínima como fator limitante, situadas a 850 m de altitude.

Além do desempenho agrônômico, há indícios de que a altitude influencia positivamente a qualidade sensorial do café conilon. Sturm *et al.* (2010) observaram que lotes cultivados em maiores altitudes apresentaram superioridade sensorial, possivelmente em função da microbiota do solo e de suas interações com o ambiente e com a planta.

Nessa linha, Veloso *et al.* (2023) investigaram a diversidade da microbiota associada aos frutos e solos de *C. arabica* e *C. canephora*, e identificaram que as comunidades bacterianas variam significativamente entre as espécies, mais do que entre os diferentes domínios florísticos brasileiros. Os autores reforçam a ideia de que as plantas são organismos holobiontes, ou seja, formam uma unidade funcional com os microrganismos que as habitam.

Portanto, a expansão do cultivo de *C. canephora* em altitudes mais elevadas, impulsionada por mudanças climáticas e avanços no melhoramento genético, representa uma oportunidade promissora para a cafeicultura brasileira. Essa estratégia pode ampliar a sustentabilidade da produção, diversificar territórios de cultivo e agregar valor à bebida por meio da melhoria de sua qualidade sensorial.

5. Plano de cafeicultura e sustentabilidade do governo do Estado do Espírito Santo

Em maio de 2023, o Governo do Espírito Santo lançou o Programa de Desenvolvimento Sustentável da Cafeicultura do Estado, iniciativa pioneira no Brasil que tem como principais objetivos aumentar a produtividade, promover a adequação ambiental das lavouras e ampliar a produção de cafés de alta qualidade (SEAG, 2024) (Figura 5).



Figura 5. Apoio técnico do Governo do Estado para iniciar e acelerar o processo de adequação socioeconômica e ambiental de suas propriedades. Fonte: <https://incaper.es.gov.br/Notícia/projeto-do-governo-do-estado-impulsiona-cafeicultura-sustentavel-no-espírito-santo>.

O programa recomenda a utilização de cultivares de alto rendimento, a adoção de boas práticas durante a colheita e o pós-colheita, bem como a manutenção de uma nutrição equilibrada e eficiente das lavouras. Dentre as ações previstas, destacam-se (INCAPER, 2025):

✓ **Cafeicultura regenerativa:** Incentivo à implementação de práticas regenerativas que visam restaurar a saúde do solo, ampliar a biodiversidade nas propriedades e fortalecer a resiliência das culturas frente às mudanças climáticas. Para isso, estão sendo instaladas unidades-modelo que demonstram técnicas sustentáveis, como a adubação verde, manejo e conservação do solo e uso eficiente de insumos biológicos;

✓ **Ações coletivas de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER):** Fortalecimento da assistência técnica por meio de mais de 160 atividades coletivas, incluindo cursos, dias de campo, eventos temáticos, concursos de qualidade do café e visitas técnicas, com o propósito de difundir conhecimento entre os produtores;

✓ **Distribuição de biodigestores:** Produtores receberam biodigestores adquiridos com recursos do programa e apoio da Plataforma Global do Café, equipamentos que promovem o saneamento ambiental nas propriedades ao possibilitar o tratamento adequado do esgoto doméstico e da água utilizada no processamento dos grãos.

A Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (SEAG) lidera o projeto, que integra cinco iniciativas contratadas dentro do Programa Inovagro, em parceria com a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES). Com investimento estadual de R\$ 4,9 milhões, o programa beneficia diferentes regiões produtoras: Caparaó e Montanhas (café arábica) e Norte, Central e Sul (conilon). A meta é promover a transição sustentável em 8 mil propriedades até 2027, com certificações concedidas conforme os níveis de adequação alcançados (INCAPER, 2025) (Figura 6).



Figura 6. Ações para ampliar sustentabilidade na cafeicultura do ES devem alcançar 8 mil propriedades até 2026. Foto: Arquivo Incaper, 2025.

Estruturado em cinco eixos — governança, sustentabilidade, tecnologia, social e agregação de valor —, o programa visa posicionar o Espírito Santo como uma das principais origens de café no mundo, reconhecido pela produtividade e pelo bem-estar das famílias produtoras (Goves, 2023).

A sustentabilidade permeia todas as ações do programa, destacando-se o fortalecimento do associativismo e cooperativismo, o incentivo ao protagonismo

de jovens lideranças e a valorização da participação feminina na cafeicultura. Busca-se, ainda, agregar valor à produção por meio do reconhecimento da origem, qualidade, produtividade e sustentabilidade dos cafés capixabas (Planeta Campo, 2023).

O Espírito Santo é referência nacional e internacional na produção de café, responsável por cerca de 75% da produção nacional de conilon. A cafeicultura capixaba gera aproximadamente 400 mil empregos diretos e indiretos, estando presente em mais de 75 mil das 108 mil propriedades agrícolas do estado (Goves, 2023). Com uma produção anual superior a 10 milhões de sacas, os cafés do Espírito Santo são exportados para mais de 100 países, destacando-se pela qualidade das variedades arábica e conilon cultivadas na região (Goves, 2024).

Com a implantação deste programa, o governo estadual reforça seu compromisso com o desenvolvimento sustentável da cafeicultura, promovendo práticas que beneficiam o meio ambiente e as comunidades envolvidas na cadeia produtiva do café (SEAG, 2024).

6. Considerações

A cafeicultura de *Coffea canephora* (café conilon) desempenha papel decisivo na economia, cultura e sociedade de diversas regiões do Brasil, especialmente no Estado do Espírito Santo, que responde por cerca de 70% da produção nacional dessa espécie. Este cenário reforça a relevância estratégica da cultura para o desenvolvimento rural, geração de emprego e renda, bem como para a manutenção da identidade regional.

No contexto atual de mudanças climáticas globais, caracterizadas pelo aumento das temperaturas médias e alterações nos padrões pluviométricos, torna-se imperativo reavaliar as áreas de cultivo e as práticas produtivas. Estudos recentes indicam que o café conilon apresenta potencial significativo para adaptação ao cultivo em regiões de altitudes elevadas, tradicionalmente destinadas ao café arábica, associadas a temperaturas mais amenas. Tal adaptação pode ampliar o horizonte produtivo da cultura, contribuindo para a sustentabilidade e resiliência da cafeicultura diante das adversidades climáticas.

Os resultados das pesquisas revisadas evidenciam a existência de clones de conilon com alta capacidade produtiva e adaptabilidade a condições de altitude e temperatura inferiores às habitualmente recomendadas para a espécie. Essa variabilidade genética é fundamental para o desenvolvimento de cultivares mais robustas e específicas para zonas de transição, podendo resultar em aumento da qualidade do produto e diversificação dos sistemas de produção.

Entretanto, apesar do potencial demonstrado, alguns desafios permanecem e demandam atenção. A produção em altitudes elevadas requer cuidados especiais relacionados à estrutura genética das lavouras, uma vez que o café conilon é uma espécie alógama e autoincompatível, dependendo da polinização cruzada para a frutificação adequada. Assim, a estreita base genética e a disponibilidade de clones adaptados para regiões altas são fatores críticos para a viabilidade e sustentabilidade do cultivo nessas áreas. A formação adequada de blocos clonais com diversidade genética suficiente é imprescindível para garantir a regularidade da produção e evitar problemas como baixa fecundidade e queda na produtividade.

Além disso, aspectos relacionados ao ciclo fenológico, como a periodicidade das floradas, maturação dos frutos e resposta ao estresse ambiental, necessitam de aprofundamento para melhor compreensão do comportamento da espécie em altitudes elevadas. Esses fatores influenciam diretamente a gestão das lavouras, o planejamento da colheita e a qualidade final do café produzido.

Portanto, torna-se indispensável à continuidade e ampliação dos estudos agrônômicos, fisiológicos e genéticos voltados ao café conilon em zonas de altitude, de modo a consolidar recomendações técnicas seguras e eficientes para produtores e extensionistas. A integração entre pesquisa científica, inovação tecnológica e práticas agrícolas sustentáveis será fundamental para assegurar a expansão responsável da cultura e sua contribuição para o desenvolvimento socioeconômico regional.

Em suma, o cultivo de *Coffea canephora* em altitudes elevadas representa uma oportunidade promissora frente às mudanças climáticas, podendo consolidar-se como uma alternativa viável e sustentável para a cafeicultura brasileira. Todavia, o sucesso dessa transição depende do investimento

contínuo em pesquisas, melhoramento genético, capacitação técnica e políticas públicas que apoiem os produtores nessa adaptação.

7. Referências

ASSAD, E. D. *et al.* Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

CECAFÉ. Conselho dos Exportadores de Café do Brasil. **Relatório Anual 2021**. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/>. Acesso em: 1 ago. 2025.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café – Safra 2022**. Acompanhamento da Safra Brasileira, v. 9, n. 4, p. 1-53, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 04 dez. 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: café – Safra 2022**. Brasília: CONAB, 2022.

DAVIS, A. P.; TOSH, J.; RUCH, N.; FAY, M. F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 167, n. 4, p. 357-377, 2011.

Espírito Santo mostra força da cafeicultura sustentável. 23 ago. 2024. Disponível em: <https://www.es.gov.br/Noticia/espírito-santo-mostra-força-da-cafeicultura-sustentavel>. Acesso em: 23 abr. 2025.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. C. Origem, dispersão, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; De MUNER, L. H. (Eds.). **Café conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. Cap. 3.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, 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.; DEMUNER, L. H. **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2017. p. 81-101.

FERRÃO, R. G. **Biometria aplicada ao melhoramento genético do café Conilon**. Tese de doutorado apresentada ao programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, Brasil, 2004.

FERRÃO, R.; SANTOS, W. G. dos.; FERRÃO, M.; SPADETO, J.; RIVA-SOUZA, E. M.; FONSECA, A. F. A. da **Indicação de cultivares de café arábica para o**

estado do Espírito Santo e avaliação comparativa com o conilon em altitude elevada. Circular Técnica n. 6, Embrapa – Brasília-DF, Abr. 2021.

FILHO, J. A. M. *et al.* Qualidade e classificação do café conilon. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 41, n. 309, p. 114-123, 28 fev. 2020. Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/4232/1/qualidad_e_eclasseificacaocafe-ferrao.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025.

GARCIA, R. D. C.; PEREIRA, L. L.; ZANDONADI, M. V.; DESTEFANI, L.; ROSSI, D. A.; CARDOSO, W. S.; OLIVEIRA, A. B. D. **Possíveis impactos das transferências de tecnologia para o cultivo do café conilon na região serrana do Espírito Santo:** proposições para agricultura familiar em zonas de transição. IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Curitiba – PR, 2015.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Anuário da cafeicultura capixaba.** Vitória: Incaper, 2021.

MARCOLAN, A. L. *et al.* Produção de café conilon de qualidade em Rondônia. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (Org.). **Café na Amazônia:** pesquisa e inovação. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 73-92.

MARRÉ, W. B.; FONSECA, A. F. A. da. **Indicação de Procedência (IP) Espírito Santo para o Café Conilon (*Coffea canephora*),** 2021.

MARTINS, M. Q.; PARTELLI, F. L.; GOLYNSKI, A.; PIMENTEL, N. S.; FERREIRA, A.; BERNARDES, C. O.; RIBEIRO-BARROS, A. I.; RAMALHO, J. C. Adaptability and stability of *Coffea cahephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 238-242, 2019.

MELO, B.; SOUSA, L. B. Biologia da reprodução de *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 1, 2011.

OpenAI. (2025). ChatGPT (versão de 17 de abril) [Modelo de linguagem grande]. <https://chatgpt.com/c/68015322-d494-8007-b291-9e8d6978d4a4>

PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Escala para avaliação visual do vigor vegetativo de cafeeiros arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p. 305-308, 2012.

Projeto do Governo do Estado impulsiona cafeicultura sustentável no Espírito Santo. 24 fev. 2025. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/Not%C3%ADcia/projeto-do-governo-do-estado-impulsiona-cafeicultura-sustentavel-no-espírito-santo>. Acesso em: 23 abr. 2025.

RIVA-SOUZA, E. M.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da; VERDIN FILHO, A. C.; FERRÃO, R. G.; MELO MOURA, W. De; OLIVEIRA FILHO, W. De. Café conilon na região serrana do Estado do Espírito Santo. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2019.

SANTOS, T. B.; MEDA, A. R.; SITTA, R. B.; VESPERO, E. B.; PAVAN, M. A.; CHARMETANT, P.; PÍPOLO, V. C.; PEREIRA, L. F. P.; VIEIRA, L. G. E.; DOMINGUES, D. S. Caracterização nutricional de acessos provenientes da Etiópia de café arábica. **Coffee Science**, v. 10, n. 1, p. 10-19, 2015.

SHALENE, J.; CHRISTOPHER, M. B.; PHILPOTT, S. M.; ERNESTO MÉNDEZ, V.; LÄDERACH, P.; RICE R. A. Shade Coffee: Update on a Disappearing Refuge for Biodiversity, **BioScience**, v. 64, n. 5, p. 416-428, 2014.

SOUSA, D. S. M. de; MEDEIROS, G. dos S.; SOUZA, M. N.; SOUZA, C. de O.; RANGEL, O. J. P.; PINTO, G. P.; OLIVEIRA, C. H. R. de; XAVIER, S. A. B. Adoção de SAFs: um modelo eficiente para a recuperação ecológica e geração de renda. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. IX. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. p. 291-317.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SILVA, M. A. A. *Software* STELLA and the hydrologic behavior in the basin of the Entre Ribeiros river, Paracatu river tributary, in scenery of climatic change. **Cadernos Pagu** (UNICAMP. Impresso). v. 84, p. 67-79, 2012.

STURM, G. M.; COSER, S. M.; SENRA, J. F. B.; FERREIRA, M. F. S.; FERREIRA, A. Qualidade sensorial de café conilon em diferentes altitudes. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v.6, n.11, p.1-7, 2010.

VELOSO, T. G. R.; SILVA, M. D. C. S. da.; MOREIRA, T. R.; LUZ, J. M. R. da; MORELI, A. P.; KASUYA, M. C. M.; PEREIRA, L. L. Microbiomes associated with *Coffea arabica* and *Coffea canephora* in four different floristic domains of Brazil. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 18477, 2023.

ZULUAGA, S. M. *et al.* Climate change impact on *Arabica coffee* in Colombia. **Climatic Change**, v. 129, n. 1-2, p. 253-266, 2015.

CAPÍTULO 8

Vantagens da sustentabilidade na produção de café conilon: perspectivas ambientais e de mercado

Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Cristiano de Oliveira, Regiane Carla Bolzan Carvalho, José Elias Alves Adão, Mayra da Silva Polastreli Lima, Palloma Pamela Moura Azevedo, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c8>

Resumo

O café conilon (*Coffea canephora*) destaca-se como cultura estratégica na agricultura brasileira, especialmente no Espírito Santo, por sua adaptabilidade, rusticidade e elevado potencial produtivo. Nos últimos anos, a crescente valorização de sistemas agrícolas sustentáveis tem impulsionado a adoção de práticas agroecológicas, como o uso de adubação verde, fertilizantes orgânicos, manejo do mato e consórcios com leguminosas. Essas práticas contribuem para a melhoria da fertilidade do solo, o controle biológico de plantas invasoras e a resiliência agroecológica dos sistemas de produção. Além de favorecerem o equilíbrio ambiental, tais estratégias reduzem a dependência de insumos externos e ampliam as possibilidades de certificação e inserção em nichos de mercado voltados ao consumo responsável, como o café orgânico e o certificado pelo comércio justo. Assim, a produção sustentável de café conilon consolida-se como alternativa viável tanto sob a perspectiva econômica quanto socioambiental, integrando produtividade, conservação dos recursos naturais e valorização social.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Práticas conservacionistas. Sistemas agroecológicos. Fertilizantes orgânicos. Certificações socioambientais. Agricultura familiar. Consorciamento de culturas.

1. Introdução

A adoção de práticas sustentáveis, como o uso de adubos orgânicos, a adubação verde e o consorciamento com leguminosas, tem demonstrado efeitos positivos na saúde do solo e na conservação da biodiversidade. Essas estratégias favorecem a ciclagem de nutrientes, a retenção de umidade e a melhoria da estrutura física do solo, ao mesmo tempo em que reduzem a dependência de fertilizantes sintéticos e promovem uma produção agrícola mais limpa (Cunha; Augustin, 2014; Schneider; Cassol, 2020).

No Brasil, a cafeicultura é uma das atividades agropecuárias mais relevantes, com o país ocupando a posição de maior produtor e exportador mundial da bebida. Entre as variedades cultivadas, o café conilon (*Coffea canephora*) tem se destacado, sobretudo no estado do Espírito Santo, responsável por cerca de 70% da produção nacional dessa espécie (CONAB, 2024). Sua rusticidade, resistência a pragas e doenças, e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas tornam o conilon uma alternativa produtiva especialmente atrativa para pequenos e médios produtores (Sgarbi, 2008; Ferrão *et al.*, 2019).

Entretanto, a intensificação agrícola, frequentemente associada ao uso excessivo de insumos químicos, tem provocado impactos ambientais negativos, como compactação e degradação do solo, contaminação dos recursos hídricos e perda da biodiversidade (Primavesi, 2002; Ambrosano *et al.*, 2009). Frente a esse cenário, estudos indicam que práticas agroecológicas, como a adubação verde e o cultivo consorciado, são alternativas eficazes para mitigar esses efeitos, promovendo sistemas agrícolas mais resilientes e gerando benefícios ambientais e econômicos (Muñoz, 1997; Almeida *et al.*, 2022).

A adubação verde, por exemplo, baseia-se no cultivo de espécies vegetais com elevado potencial de produção de biomassa e fixação biológica de nitrogênio, como crotalárias (*Crotalaria juncea*) e mucunas (*Mucuna pruriens*). Essas espécies melhoram a fertilidade e a estrutura do solo, auxiliam no controle de plantas daninhas e na redução da erosão (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007; Souza; Dan; Araújo, 2016). Além disso, são capazes de mobilizar nutrientes em camadas mais profundas, tornando-os acessíveis a culturas de interesse econômico, como o café.

Outro componente relevante da sustentabilidade é o consorciamento de culturas, que permite o cultivo simultâneo de diferentes espécies vegetais na mesma área. Essa prática favorece sinergias ecológicas, como o controle biológico de pragas e doenças, o aumento da cobertura do solo e o incremento da diversidade biológica edáfica (Mota *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2021). No caso do café conilon, o consórcio com leguminosas tem mostrado eficiência na redução do uso de adubos nitrogenados e na promoção da conservação ambiental.

Além das práticas produtivas, destaca-se a importância da capacitação dos produtores, por meio de programas de extensão rural, cursos técnicos e parcerias com instituições de ensino e pesquisa. A formação técnica e a educação ambiental dos agricultores são fatores essenciais para a adoção bem-sucedida de práticas sustentáveis e para a disseminação de tecnologias adaptadas às condições locais (Silva *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2021).

Paralelamente, cresce a demanda por cafés produzidos com responsabilidade socioambiental, impulsionada por consumidores mais conscientes e exigentes. Nesse contexto, certificações como Fair Trade, Orgânico, UTZ Certified e Rainforest Alliance agregam valor ao produto e facilitam o acesso a mercados diferenciados, especialmente no comércio internacional (Koch, 2019; Imaflora, 2023). Esses selos atestam padrões mínimos de sustentabilidade, rastreabilidade, respeito aos direitos trabalhistas e boas práticas agrícolas.

Diante desse panorama, o objetivo deste capítulo é demonstrar que a adoção de práticas agrícolas sustentáveis é fundamental para assegurar a viabilidade econômica e ambiental da produção de café no Brasil, com ênfase no cultivo do café conilon. A incorporação de tais práticas oferece vantagens competitivas, atende às exigências de mercados em expansão e contribui para a valorização do café brasileiro, consolidando um modelo de referência em sustentabilidade para o setor cafeeiro.

2. A importância do café conilon na agricultura brasileira

O café conilon (*Coffea canephora*) ocupa posição de destaque na agricultura brasileira, sendo uma das principais culturas permanentes do país em termos de área cultivada, volume de produção e relevância socioeconômica. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, e o conilon representa aproximadamente 30% da produção nacional total, com ênfase no estado do Espírito Santo, responsável por cerca de 70% da produção brasileira dessa variedade (CONAB, 2024).

A cafeicultura do conilon exerce papel estratégico na geração de emprego e renda, especialmente entre pequenos e médios produtores rurais, contribuindo para a dinamização das economias locais e para a permanência das famílias no meio rural. Segundo Ferrão *et al.* (2019), a produção de conilon no Espírito Santo envolve mais de 78 mil propriedades, majoritariamente de base familiar, evidenciando sua relevância para a agricultura de base sustentável e para o desenvolvimento regional.

As características agronômicas do conilon, como sua rusticidade, robustez e resistência a pragas e doenças, favorecem sua adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, permitindo o cultivo em amplas regiões do território nacional, inclusive em áreas com solos menos férteis e climas mais quentes (Sgarbi, 2008; Ferrão *et al.*, 2019). Essas características reduzem a dependência de defensivos químicos e de sistemas de irrigação intensivos, favorecendo o uso de práticas de manejo mais sustentáveis, com menor custo operacional e impacto ambiental reduzido (Almeida *et al.*, 2022).

Além do seu papel na segurança econômica e social de milhares de famílias, o café conilon tem ganhado crescente relevância nos mercados interno e externo, sendo componente essencial na formulação de *blends* para cafés solúveis e expressos, aos quais confere características como maior corpo, intensidade e teor de cafeína. Com os avanços em melhoramento genético e na adoção de práticas produtivas mais sustentáveis, observa-se também o aumento do interesse por cafés conilon especiais, o que amplia seu potencial comercial e estimula a implementação de tecnologias de produção mais limpas e eficientes (Barbosa *et al.*, 2020).

Dessa forma, a importância do café conilon transcende a dimensão estritamente produtiva, abrangendo aspectos econômicos, sociais e ambientais. Sua valorização crescente no mercado, aliada à expansão das práticas sustentáveis, reforça sua posição estratégica na agricultura brasileira e contribui para a consolidação de um modelo produtivo mais resiliente, inclusivo e ambientalmente responsável (Figura 1).



Figura 1. Colheita de café conilon. Fonte: Huber, 2020.

Além de seu impacto econômico, a produção de café conilon (*Coffea canephora*) exerce um papel relevante na preservação ambiental, especialmente quando associada a práticas de manejo sustentável e à manutenção de áreas de vegetação nativa. Em muitas propriedades rurais brasileiras — particularmente no Espírito Santo — parcela significativa das terras é destinada à conservação e à recuperação de ecossistemas locais, contribuindo para a manutenção da biodiversidade, a proteção de nascentes e a conectividade ecológica entre fragmentos florestais (Sgarbi, 2008; Ferrão *et al.*, 2019).

Essa integração entre produção agrícola e conservação ambiental reflete uma tendência crescente na agropecuária brasileira, que busca conciliar produtividade e sustentabilidade, sobretudo em regiões de elevada importância ecológica, como a Mata Atlântica. O cultivo sustentável do café conilon contribui para a resiliência dos sistemas agroecológicos, promovendo a conservação do solo, a recarga dos aquíferos e o controle biológico de pragas (Altieri, 2012; Schneider; Cassol, 2020).

O Espírito Santo se destaca como o principal estado produtor de café conilon no Brasil, sendo responsável por aproximadamente 70% da produção nacional, o que equivale a até 20% da produção mundial de café robusta. Em regiões de clima quente do estado, o conilon representa a principal fonte de renda para cerca de 80% das propriedades rurais, sendo cultivado em aproximadamente 283 mil hectares, distribuídos por 63 municípios. A atividade envolve mais de 40 mil propriedades, sustentando diretamente cerca de 78 mil famílias agricultoras e gerando aproximadamente 250 mil empregos diretos e indiretos. Representando 37% do Produto Interno Bruto (PIB) agrícola capixaba, o café conilon configura-se como uma atividade estratégica tanto para o desenvolvimento socioeconômico quanto para a sustentabilidade ambiental do estado (Incapar, 2024).

Dessa forma, a cafeicultura conilon deve ser compreendida não apenas como uma atividade de base econômica sólida, mas também como uma aliada estratégica da conservação ambiental, especialmente quando orientada por princípios agroecológicos e apoiada por políticas públicas voltadas à promoção de sistemas agrícolas de baixo impacto ambiental (Figura 2).



Figura 2. Produtor de Café Conilon em Rive, Alegre, ES, Ronaldo (à esquerda) recebendo visita técnica. Fonte: Acervo Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, 2022.

O consumo global de café solúvel tem apresentado crescimento contínuo, impulsionado por mudanças nos hábitos dos consumidores, pela busca por conveniência e pela expansão dos mercados emergentes. Nesse contexto, o café conilon (*Coffea canephora*) desempenha um papel central, sendo amplamente utilizado na formulação de *blends* voltados à produção de café solúvel, nos quais tradicionalmente representa cerca de 40% da mistura — proporção que pode variar conforme a produção anual e os critérios de qualidade adotados pelas indústrias (ABICS, 2019; ABIC, 2019).

Esse cenário reforça a importância estratégica do conilon para a agricultura brasileira, especialmente considerando que o Brasil é o maior produtor mundial dessa variedade, com destaque para o estado do Espírito Santo. O crescimento da demanda internacional por café solúvel representa uma oportunidade direta para os produtores brasileiros, particularmente os capixabas, cujas lavouras abastecem tanto o mercado interno quanto a indústria exportadora (Figura 3).



Figura 3. Café conilon em terreiro suspenso: preocupação com a qualidade da bebida, Ifes campus de Alegre. Fonte: Mayra da S. Polastrelli, 2025.

A relevância econômica do café conilon é particularmente expressiva nas regiões produtoras, onde a cultura não apenas assegura a renda de milhares de famílias agricultoras, mas também dinamiza cadeias produtivas, gera empregos

e contribui de forma significativa para o Produto Interno Bruto (PIB) agrícola regional.

Assim, além de seu papel social e ambiental, o café conilon consolida-se como um componente estratégico na competitividade internacional do Brasil no setor cafeeiro, evidenciando a necessidade de investimentos contínuos em pesquisa, manejo sustentável e agregação de valor aos produtos derivados.

3. Desafios da agricultura convencional

A agricultura convencional, caracterizada pelo uso intensivo de fertilizantes sintéticos, defensivos químicos e maquinário pesado, tem gerado preocupações crescentes quanto à sua sustentabilidade ambiental, econômica e social. Embora esse modelo tenha desempenhado papel importante no aumento da produtividade agrícola ao longo do século XX, seus efeitos colaterais sobre os recursos naturais e os sistemas agroecológicos tornaram-se cada vez mais evidentes e alarmantes (Primavesi, 2002; Altieri, 2012).

A aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, somada ao uso contínuo de agrotóxicos, tem contribuído significativamente para a degradação do solo, a contaminação de corpos d'água e a redução da biodiversidade funcional. Em regiões tropicais, onde a alta pluviosidade favorece a lixiviação, os nutrientes e resíduos químicos são facilmente transportados para os sistemas hídricos, provocando a eutrofização de rios e lagos, o comprometimento da qualidade da água e o desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos (Ambrosano *et al.*, 2009).

Além disso, o uso intensivo de insumos compromete a microbiota do solo, reduz sua fertilidade biológica, acelera a compactação e a perda de matéria orgânica — componentes essenciais à resiliência e à sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Primavesi, 2002).

Do ponto de vista econômico, a dependência de insumos externos constitui um dos principais entraves da agricultura convencional. As oscilações nos preços internacionais de fertilizantes e defensivos tornam os sistemas produtivos vulneráveis, principalmente no caso dos pequenos agricultores, que frequentemente enfrentam dificuldades de acesso ao crédito rural e não dispõem

de capacidade de negociação frente às grandes indústrias do setor (Ambrosano *et al.*, 2009; Cunha; Augustin, 2014). Esse contexto acentua as desigualdades no meio rural e dificulta a adoção de tecnologias mais acessíveis e ambientalmente responsáveis.

Como resposta a esse modelo esgotado, tem se intensificado o interesse por práticas agrícolas sustentáveis, que visam restaurar a saúde do solo e a integridade dos ecossistemas, ao mesmo tempo em que reduzem a dependência de insumos químicos e fortalecem a resiliência agroecológica. Destacam-se entre essas práticas a agricultura orgânica, a agricultura de conservação, a agroecologia e a agricultura regenerativa — todas fundamentadas em princípios ecológicos, sociais e culturais (Caporal; Costabeber, 2006; Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007).

A agroecologia, em especial, tem se consolidado como uma alternativa técnica, econômica e política viável para superar os limites do modelo convencional. Por meio da diversificação de cultivos, do consórcio com leguminosas, da adubação verde e do controle biológico de pragas, os sistemas agroecológicos buscam imitar os processos naturais, proporcionando benefícios como o aumento da biodiversidade funcional, a melhoria da estrutura física do solo e a maior capacidade de adaptação às mudanças climáticas (Souza; Dan; Araújo, 2016) (Figura 4).



Figura 4. Cafeicultura agroecológica em Feliz Lembrança, Alegre, ES. Fonte: Mayra da S. Polastrelli, 2025.

Dessa forma, a transição para modelos agrícolas sustentáveis representa uma resposta estratégica e urgente aos desafios impostos pela agricultura convencional. Ao promover sistemas produtivos mais equilibrados, resilientes e menos dependentes de insumos externos, essa transição favorece não apenas a produtividade de longo prazo, mas também a conservação ambiental, a segurança alimentar e a justiça social no campo.

4. Práticas sustentáveis aplicadas à cafeicultura conilon

A sustentabilidade na cafeicultura conilon tem se consolidado como estratégia essencial para garantir a viabilidade econômica, social e ambiental da atividade. Diversas práticas têm sido adotadas por produtores, com destaque para o uso racional de recursos naturais, a diversificação produtiva e a redução do uso de insumos químicos. Entre as principais ações sustentáveis, destacam-se (Cunha; Augustin, 2014; Mota *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2015; Souza; Dan; Araújo, 2016; Ferrão *et al.*, 2019; Schneider; Cassol, 2020; Pereira *et al.*, 2021; Almeida *et al.*, 2022):

- ✓ **Adubação verde** com leguminosas, que promove a ciclagem de nutrientes, melhora a estrutura do solo e contribui para o controle de plantas espontâneas;

- ✓ **Poda programada**, que permite o manejo eficiente da lavoura, favorecendo a renovação dos ramos produtivos e o equilíbrio fisiológico das plantas;

- ✓ **Sombreamento moderado**, realizado com espécies arbóreas nativas ou frutíferas, contribuindo para a conservação da biodiversidade e o conforto térmico das plantas;

- ✓ **Uso de bioinsumos e fertilizantes orgânicos**, que reduz a dependência de produtos químicos sintéticos e favorece a saúde do solo e das plantas;

- ✓ **Cobertura do solo** com palhada e restos culturais, que reduz a erosão, conserva a umidade e estimula a atividade biológica;

- ✓ **Captação e uso eficiente da água**, com técnicas como irrigação localizada e manejo adequado da irrigação, especialmente importante em regiões de escassez hídrica.

Essas práticas, quando integradas, promovem sistemas produtivos mais resilientes, alinhados aos princípios da agroecologia e da agricultura regenerativa, contribuindo não apenas para a qualidade do produto final, mas também para a valorização social e ambiental da cafeicultura capixaba.

5. Adubação verde como alternativa sustentável

A adubação verde é uma prática agrícola fundamental para a promoção da sustentabilidade e a conservação do solo, consistindo no cultivo de espécies vegetais destinadas à incorporação ao solo, com o objetivo de enriquecer a matéria orgânica e os nutrientes essenciais. Essa técnica se revela especialmente eficaz na recuperação da fertilidade, na melhoria da estrutura física do solo, no controle da erosão e na redução da dependência de fertilizantes químicos (Muñoz, 1997; Primavesi, 2002).

As espécies utilizadas como adubos verdes — predominantemente leguminosas, como crotalária, mucuna, feijão-de-porco e guandu — possuem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, tornando esse nutriente disponível para as culturas subsequentes. Além disso, ao serem incorporadas ao solo ou mantidas como cobertura, essas plantas liberam nutrientes de forma gradual, melhorando a capacidade de retenção hídrica, promovendo maior aeração e estimulando a atividade biológica do solo (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007).

A adubação verde também desempenha papel importante na ciclagem de nutrientes, no controle de plantas espontâneas (ervas daninhas) e na redução da compactação do solo, contribuindo para ambientes agrícolas mais equilibrados e resilientes. Conforme Khatounian (2002), essa prática representa uma estratégia ecológica para a gestão da fertilidade do solo, capaz de restaurar áreas degradadas e potencializar a produtividade agrícola em médio e longo prazo, sobretudo em sistemas agroecológicos.

No cultivo do café conilon, a adubação verde tem se mostrado uma alternativa viável, tanto técnica quanto economicamente, pois permite reduzir o uso de insumos externos e melhorar a qualidade biológica e química dos solos em cafezais localizados em áreas de relevo acidentado e solos frágeis —

condições típicas das regiões produtoras do Espírito Santo. Ademais, ao favorecer a biodiversidade do agroecossistema, essa técnica contribui para aumentar a resiliência das lavouras frente às variações climáticas e à incidência de pragas e doenças (Souza; Dan; Araújo, 2016).

Portanto, a adubação verde deve ser compreendida não apenas como uma técnica complementar, mas como um componente estratégico dos sistemas agrícolas sustentáveis, com elevado potencial para ampla adoção em regiões cafeeiras que buscam conciliar produção e conservação ambiental (Figura 5).



Figura 5. Roçada da braquiária (*Brachiaria ruzizensis*) nas entrelinhas de plantio de Conilon. Fonte: Incaper, 2019.

Entre as espécies mais valorizadas para a adubação verde, destacam-se as leguminosas, especialmente as crotalárias (*Crotalaria* spp.), que possuem elevada capacidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*. Essa característica é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pois reduz a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos, diminui os custos de produção e contribui para a autossuficiência nutricional do solo (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007) (Figura 6).



Figura 6. Café consorciado com crotalária. Fonte: <https://www.agcroppers.com/sementes/ag-mix/ag-mix-cafe/4>.

Além de promover a fertilidade do solo, as crotalárias auxiliam no controle de plantas espontâneas (invasoras), graças à sua capacidade de cobertura do solo e à liberação de substâncias alelopáticas, o que reduz a necessidade do uso de herbicidas. A biomassa gerada, quando incorporada ao solo, melhora sua estrutura física, aumenta a capacidade de retenção hídrica e favorece a infiltração de água, criando condições mais adequadas para o desenvolvimento de culturas comerciais, como o café (Muñoz, 1997; Primavesi, 2002).

Outro benefício importante da adubação verde é a promoção da biodiversidade do solo. A introdução de diferentes espécies vegetais nos agroecossistemas amplia a diversidade de micro-habitats, favorecendo uma comunidade mais rica de microrganismos benéficos, como fungos micorrízicos e bactérias promotoras do crescimento vegetal. Essa diversidade funcional aumenta a resiliência ecológica, previne a incidência de pragas e doenças e estimula os processos naturais de ciclagem de nutrientes, fortalecendo a sustentabilidade produtiva das lavouras (Altieri, 2012; Khatounian, 2002) (Figura 7).



Figura 7. Consórcio de café conilon orgânico com espécies arbóreas e frutíferas.
Fonte: Girelli, 2017.

Dessa forma, a adubação verde, especialmente por meio do uso de leguminosas como as crotalárias, configura-se como uma estratégia agroecológica eficaz para a construção de sistemas agrícolas mais resilientes, autossuficientes e ambientalmente equilibrados. A adoção dessa prática é essencial para a transição para modelos produtivos menos dependentes de insumos externos e mais integrados aos processos naturais.

6. Consorciamento de culturas: benefícios e desafios

O consorciamento de culturas consiste na prática de cultivar simultaneamente duas ou mais espécies vegetais em um mesmo espaço e período, com o objetivo de promover interações benéficas entre as plantas, otimizar o uso dos recursos naturais e aumentar a eficiência produtiva dos agroecossistemas. Essa estratégia, amplamente utilizada em sistemas agroecológicos, apresenta-se como alternativa viável e sustentável à agricultura convencional, especialmente em contextos de pequena escala, como na produção de café conilon (*Coffea canephora*) (Sgarbi, 2008; Altieri, 2012).

Na cafeicultura, o consórcio do conilon com leguminosas — como crotalária e feijão-de-porco — tem demonstrado efeitos positivos sobre as propriedades do solo, incluindo a fixação biológica de N, o aumento da matéria orgânica, a melhoria da estrutura física e da capacidade de retenção de água. Além disso, essa associação reduz a ocorrência de plantas daninhas, minimiza a incidência de pragas e doenças e contribui para o aumento da biodiversidade funcional, promovendo maior equilíbrio ecológico no sistema produtivo (Fundação Cargill, 1984; Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007).

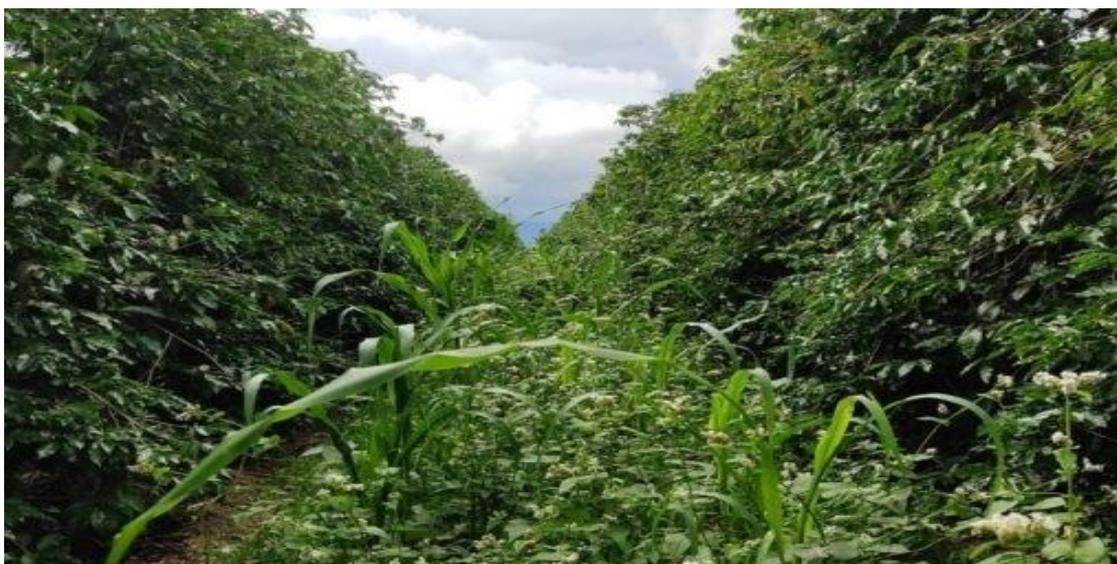


Figura 8. Mix de leguminosas nas ruas do cafezal. Fonte: <https://hubdocafe.cooxupe.com.br/voce-sabe-o-que-e-o-mix-de-plantas-de-cobertura/>

O consórcio do café com espécies alimentares ou frutíferas — como banana, cacau, mandioca ou leguminosas arbóreas — também apresenta vantagens econômicas, ao permitir a diversificação das fontes de renda, melhorar a resiliência financeira das propriedades e viabilizar uma produção mais contínua e estável ao longo do ano. Essa diversificação contribui para a segurança alimentar e reduz a dependência exclusiva da atividade cafeeira, especialmente diante das oscilações do mercado internacional (Cunha; Augustin, 2014).

No entanto, apesar dos diversos benefícios, o consorciamento de culturas impõe desafios agrônômicos e de manejo. A convivência entre espécies exige planejamento técnico criterioso para evitar competição por luz, água e nutrientes, bem como possíveis interferências negativas no desenvolvimento das culturas

principais. Para isso, é necessário considerar fatores como o espaçamento adequado, a sincronização dos ciclos fenológicos e a escolha de espécies compatíveis, de modo a potencializar os efeitos sinérgicos do consórcio (Khatounian, 2002).



Figura 9. Cafezal consorciado com banana. Fonte: Ferreira *et al.*, 2021. In: <https://meridapublishers.com/l7topicos/capitulo3.html>.

Ademais, a adoção dessa prática requer capacitação técnica dos agricultores, além do suporte de instituições de pesquisa e de extensão rural, que possam desenvolver e difundir modelos adaptados às condições locais. Apesar dos desafios iniciais, estudos demonstram que, em longo prazo, o consorciamento pode resultar em maior produtividade global por área e em redução de custos com insumos, consolidando-se como uma alternativa agroecológica promissora para o fortalecimento da cafeicultura sustentável (Souza; Dan; Araújo, 2016).

7. Sustentabilidade na produção de café

A busca por sistemas agrícolas mais sustentáveis constitui uma das principais diretrizes da agricultura contemporânea, em resposta aos desafios ambientais, sociais e econômicos do século XXI. Nesse cenário, a cafeicultura (*Coffea spp.*), uma das mais relevantes *commodities* do agronegócio brasileiro, vem incorporando progressivamente práticas agroecológicas, com o intuito de

promover o equilíbrio ecológico, mitigar impactos ambientais e assegurar a viabilidade econômica e social da atividade no longo prazo (Khatounian, 2002; Altieri, 2012).

A adoção de estratégias como adubação verde, consorciação de culturas, uso de biofertilizantes, manejo integrado de pragas e doenças, e implantação de sistemas agroflorestais (SAFs) tem se mostrado eficaz na redução da dependência de insumos externos, na recuperação da fertilidade do solo, no aumento da biodiversidade funcional e na elevação da resiliência dos agroecossistemas frente às mudanças climáticas e às instabilidades do mercado (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007; Souza; Dan; Araújo, 2016).

A sustentabilidade na cafeicultura está intrinsecamente relacionada à conservação dos recursos naturais, como o solo e a água, bem como à manutenção da qualidade ambiental das paisagens produtivas. Técnicas como o adensamento planejado, a manutenção de cobertura vegetal permanente e o uso de sombreamento natural com espécies nativas contribuem para a regulação do microclima, a redução da evapotranspiração e a conservação da umidade do solo, fatores que influenciam positivamente a produtividade e a qualidade dos grãos (Cunha; Augustin, 2014; Sgarbi, 2008).

A transição agroecológica na cafeicultura também contempla dimensões socioeconômicas, com destaque para os sistemas de base familiar. A redução de custos com insumos, a diversificação das fontes de renda e o acesso a nichos de mercado — como os de cafés especiais, orgânicos e certificados — fortalecem a autonomia dos agricultores, promovem a segurança alimentar e contribuem para a valorização do trabalho no campo (Koch, 2019).

Para a consolidação da sustentabilidade na produção cafeeira, são essenciais investimentos em pesquisa aplicada, assistência técnica continuada e fortalecimento de redes de intercâmbio de saberes entre agricultores, técnicos e instituições. A articulação entre o conhecimento científico e os saberes tradicionais representa um caminho promissor para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais resilientes, inclusivos e ambientalmente equilibrados (Silva *et al.*, 2015; Altieri, 2012) (Figura 10).



Figura 10. Pesquisa com clones de café no Ifes campus de Alegre: parceria com produtor rural. Fonte: Mayra da S. Polastrelli, 2025.

8. Efeitos alelopáticos das crotalárias

As crotalárias (gênero *Crotalaria*), leguminosas da família Fabaceae, são amplamente empregadas em sistemas agroecológicos e de manejo sustentável em razão de suas múltiplas funcionalidades. Além de promoverem a fixação biológica de N, contribuirão para a cobertura do solo e apresentarem elevada produção de biomassa, destacam-se pelos efeitos alelopáticos — a capacidade de interferir no crescimento, desenvolvimento ou germinação de outras espécies vegetais por meio da liberação de compostos químicos no ambiente (Chou, 2006; Pereira Filho *et al.*, 2015).

Esses compostos, denominados aleloquímicos, são liberados principalmente pelas raízes, exsudatos e pela decomposição da parte aérea das plantas, afetando diretamente o banco de sementes do solo e o estabelecimento de plantas concorrentes, especialmente as invasoras. Essa característica torna as crotalárias uma alternativa estratégica no manejo agroecológico de culturas comerciais, como o café conilon (*Coffea canephora*), ao contribuir para a supressão natural de plantas daninhas e a redução da necessidade de herbicidas, favorecendo sistemas produtivos mais equilibrados e menos dependentes de insumos químicos (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007).

8.1. Controle de plantas invasoras

O efeito alelopático das crotalárias manifesta-se, sobretudo, na inibição da germinação e do desenvolvimento inicial de plantas invasoras, que competem com as culturas de interesse por luz, água, nutrientes e espaço. Essa ação inibitória natural contribui para a redução da presença de espécies daninhas e, conseqüentemente, da dependência do uso de herbicidas sintéticos, favorecendo estratégias de manejo mais sustentáveis (Pereira Filho *et al.*, 2015).

Em sistemas consorciados com o café conilon, a utilização de crotalárias tem se mostrado eficiente não apenas na supressão de plantas invasoras, mas também na melhoria das condições edáficas e na criação de ambientes mais propícios ao desenvolvimento radicular do cafeeiro. Estudos de campo indicam que o uso rotativo ou simultâneo dessas leguminosas em linhas ou entrelinhas do cafeeiro contribui para a redução de infestações por gramíneas e outras espécies competidoras, inclusive em áreas com alto grau de degradação (Souza; Dan; Araújo, 2016).

Além do controle direto de plantas invasoras, o uso de crotalárias em sistemas agroecológicos ou agroflorestais reduz a pressão seletiva sobre os herbicidas, retardando o surgimento de espécies resistentes. Essa prática constitui uma abordagem integrada ao manejo agrícola, promovendo sistemas de cultivo mais equilibrados, resilientes e com menor impacto ambiental e toxicológico (Altieri, 2012) (Figura 11).



Figura 11. Crotalária intercalada ao cafeeiro. Fonte: Alves, 2015.

8.2. Benefícios edáficos e controle biológico

Além de seus efeitos alelopáticos sobre plantas invasoras, as crotalárias exercem papel estratégico na melhoria da qualidade e estrutura do solo, configurando-se como aliadas essenciais em sistemas sustentáveis de produção, especialmente na cafeicultura. Como leguminosas, essas espécies estabelecem associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium*, promovendo a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N₂) e enriquecendo o solo com esse nutriente essencial ao desenvolvimento vegetal (Muñoz, 1997; Pereira Filho *et al.*, 2015).

A incorporação da biomassa das crotalárias ao solo, após seu manejo, contribui significativamente para o aumento do teor de matéria orgânica, melhora a capacidade de retenção de água, estimula a atividade biológica edáfica e favorece a agregação estrutural dos solos. Esses efeitos são particularmente relevantes em áreas cultivadas com café conilon (*Coffea canephora*), uma vez que solos mais férteis e bem estruturados favorecem o crescimento radicular, otimizam a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, promovem elevação nos índices de produtividade e qualidade dos grãos (Souza; Dan; Araújo, 2016).

Outro benefício expressivo refere-se ao controle biológico de fitonematóides, organismos microscópicos que parasitam raízes e comprometem a produção agrícola. Espécies como *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* produzem compostos secundários — como a monocrotalina — com propriedades tóxicas para nematoides fitopatogênicos, a exemplo de *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus spp.* (Wang *et al.*, 2002). A utilização dessas crotalárias em rotação ou consorciação com o cafeeiro representa uma estratégia eficiente de controle biológico, reduzindo a necessidade de aplicação de nematicidas químicos e promovendo maior equilíbrio ecológico nos agroecossistemas (Figura 12).



Figura 12. Cafezal consorciado com crotalária. Fonte: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/628847/1/doc208.pdf>.

Desse modo, a integração das crotalárias aos sistemas de cultivo do café conilon potencializa os benefícios agrônômicos e ambientais, fortalecendo a sustentabilidade da produção e oferecendo alternativas viáveis para agricultores comprometidos com a conservação dos recursos naturais e o aumento da produtividade.

9. Contribuições socioambientais do café conilon

O cultivo do café conilon (*Coffea canephora*) no Brasil, especialmente na região Sudeste e em parte do Norte do Espírito Santo, tem gerado impactos positivos não apenas do ponto de vista econômico, mas também sob os aspectos sociais e ambientais. Ao ser cultivado predominantemente por pequenos e médios produtores, o conilon impulsiona a agricultura familiar, gera empregos diretos e indiretos no campo e fortalece a economia de diversos municípios. Além disso, a cadeia produtiva do conilon promove a inclusão de comunidades rurais no mercado, contribuindo para a fixação do homem no campo e para a redução das desigualdades regionais (CONAB, 2023; EMBRAPA, 2019).

Do ponto de vista ambiental, o sistema de cultivo do conilon tem evoluído consideravelmente com a adoção de práticas mais sustentáveis, como o uso de sistemas agroflorestais, a conservação dos recursos hídricos, o manejo integrado de pragas, a adubação verde e a recuperação de áreas degradadas. Essas iniciativas contribuem para a melhoria da qualidade do solo, da biodiversidade local e para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, ao favorecer a fixação de carbono e reduzir o uso de insumos sintéticos (Ferrão *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2021).

Programas de certificação e rastreabilidade, assim como incentivos a boas práticas agrícolas, têm valorizado o café conilon no mercado nacional e internacional, reforçando seu papel como produto estratégico para o desenvolvimento sustentável. A valorização de variedades mais resistentes e produtivas, desenvolvidas por instituições como a Incaper e a Embrapa, também favorece a resiliência dos sistemas produtivos frente a eventos climáticos extremos, ao mesmo tempo em que promovem maior eficiência no uso da água e dos nutrientes (Verdin Filho *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2022).

10. O café conilon e o mercado global de café solúvel

O café conilon (*Coffea canephora*) tem se destacado como matéria-prima essencial na produção de café solúvel, especialmente devido ao seu teor mais elevado de cafeína, maior resistência a pragas e maior produtividade em comparação ao café arábica (*Coffea arabica*) (Brito *et al.*, 2018). Essas características tornam o conilon economicamente mais atrativo para a indústria de café instantâneo, que busca eficiência produtiva, sabor marcante e custos mais baixos.

O Brasil, como maior produtor mundial de conilon, tem ampliado sua participação no mercado de café solúvel. Em 2023, cerca de 80% do conilon produzido no país foi destinado à indústria de café solúvel ou para composições em *blends* com arábica, reforçando sua relevância no comércio internacional (ABIC, 2023; CONAB, 2023).

O mercado global de café solúvel continua em expansão, impulsionado por mudanças nos hábitos de consumo, conveniência, urbanização e crescimento

da demanda em países emergentes. Países como Rússia, Estados Unidos, Japão, Filipinas e México figuram entre os principais consumidores de café solúvel brasileiro (MAPA, 2022). Essa tendência tem estimulado investimentos em tecnologias de extração, liofilização e *spray drying*¹, além de fomentar práticas mais sustentáveis na cadeia produtiva (ICO, 2022).

A cadeia produtiva do conilon também tem buscado adequações ambientais e sociais, com destaque para certificações sustentáveis, valorização da cafeicultura familiar e programas de rastreabilidade. Nesse contexto, o conilon não apenas representa uma alternativa estratégica para o mercado de café solúvel, como também uma oportunidade de fortalecimento econômico para regiões produtoras do Espírito Santo, Rondônia e Bahia (SEBRAE, 2021).

11. Considerações

A produção de café conilon no Brasil, especialmente no estado do Espírito Santo, configura-se como uma atividade agrícola de grande importância econômica, social e cultural, sustentando milhares de famílias e contribuindo significativamente para o desenvolvimento regional. No entanto, diante dos crescentes impactos e externalidades ambientais negativos provocados pelos modelos convencionais de produção, torna-se urgente repensar as práticas adotadas no campo, buscando alternativas que promovam a sustentabilidade de forma integrada — ambiental, econômica e socialmente.

Nesse contexto, a cafeicultura agroecológica e regenerativa surge como uma abordagem estratégica e necessária. Diferente do modelo convencional, essas práticas compreendem o sistema produtivo como parte de um ecossistema mais amplo, valorizando a diversidade biológica, os saberes tradicionais e a autonomia dos agricultores. A adoção de técnicas como a adubação verde, o consorciamento de culturas, o manejo ecológico de pragas, a compostagem, o cultivo sombreado e a recuperação de áreas degradadas por

¹ Também conhecido como secagem por aspersão ou atomização, é um método de secagem que transforma líquidos em pós secos, utilizando a dispersão do líquido em pequenas gotículas e a evaporação rápida do solvente com ar quente.

meio de sistemas agroflorestais são exemplos de ações regenerativas que restauram os ciclos naturais e fortalecem a resiliência dos agroecossistemas.

Além de favorecerem a fertilidade do solo, a biodiversidade funcional e o equilíbrio ecológico, essas práticas reduzem a dependência de insumos externos e aumentam a capacidade das lavouras de enfrentar adversidades climáticas, como secas ou eventos extremos. A perspectiva regenerativa não se limita à manutenção dos recursos naturais, mas atua ativamente na sua recuperação, contribuindo para a resiliência hídrica, a captura de carbono e a melhoria da qualidade de vida no campo.

Por outro lado, a crescente conscientização dos consumidores e o aumento da demanda por produtos éticos e sustentáveis vêm transformando o mercado global. Produtos certificados e com menor impacto ambiental têm conquistado espaços estratégicos e valorização comercial. Assim, a sustentabilidade deixa de ser apenas uma exigência ética ou ambiental e se afirma como uma oportunidade econômica real, permitindo aos produtores diferenciarem seus produtos e agregarem valor por meio de certificações socioambientais e selos de comércio justo ou orgânico.

Para viabilizar essa transição, é indispensável a articulação entre produtores, movimentos sociais, centros de pesquisa, universidades, instituições de extensão rural, órgãos governamentais e o setor privado. O investimento em formação técnica continuada, pesquisa participativa, políticas públicas de incentivo e acesso a mercados diferenciados devem ser priorizados, especialmente para agricultores familiares e comunidades tradicionais, que muitas vezes já desenvolvem práticas agroecológicas mesmo sem o devido reconhecimento institucional.

A sustentabilidade na cafeicultura, especialmente no caso do conilon, exige mais do que a adoção de técnicas isoladas — requer uma mudança de paradigma que valorize a vida, o território e a cultura do campo. Somente com um compromisso coletivo e intersetorial será possível garantir que a produção de café continue sendo fonte de renda, dignidade e bem-estar, sem comprometer os recursos naturais e o futuro das próximas gerações. Desse modo, o futuro da cafeicultura conilon no Brasil poderá ser verdadeiramente promissor, conciliando produtividade, justiça social e integridade ecológica.

12. Referências

- ABIC. Associação Brasileira da Indústria de Café. **Indicadores da indústria de café no Brasil**. São Paulo: ABIC, 2019. Disponível em: <https://www.abic.com.br>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- ABIC. Associação Brasileira da Indústria de Café. **Indicadores da Indústria de Café Solúvel Brasileira – 2023**. São Paulo: ABIC, 2023. Disponível em: <https://www.abic.com.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- ABICS. Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel. **Relatório Anual 2019**. São Paulo: ABICS, 2019. Disponível em: <https://www.abics.com.br>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- ABICS. Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel. **Uso de conilon nos blends da indústria**. Disponível em: <https://abics.com.br>. Acesso em: 09 jan. 2019.
- ALMEIDA, A. A. F. *et al.* Manejo sustentável na cafeicultura: práticas e benefícios para a qualidade do solo e produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, 2022.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 5. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2012.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; VAZQUEZ, L. **Agroecologia e o desenho de agroecossistemas resilientes ao clima**. Série Agroecologia, v. 7, p. 1-35, 2007.
- ALVES, J. G. C. **Crotalaria Juncea em cultivo intercalar ao cafeeiro**. 2015. Disponível em: <https://www.cafepoint.com.br/colunas/espaco-aberto/crotalaria-junceae-em-cultivo-intercalar-ao-cafeeiro-96196n.aspx>. Acesso em: 17 out. 2024.
- AMBROSANO, E. J. Biofertilizantes e microbiologia do solo: contribuições para a cafeicultura sustentável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 567-579, 2009.
- BARBOSA, J. N. *et al.* Café conilon: desafios e oportunidades na produção de cafés de qualidade. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 28-39, 2020.
- BRITO, S. M. *et al.* Café Conilon: importância econômica e qualidade. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 39, n. 1, p. 92-99, 2018.
- BRUSSARD, L.; DE RUITER, P. C.; BROWN, G. G. Soil biodiversity for agricultural sustainability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 257, p. 115-116, 2018.
- CALEGARI, A. Práticas de manejo sustentável na agricultura. **Revista Brasileira de Agroecologia**. 1995.
- CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia: enfoques científicos e políticos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

CARPENTER, S. R. *et al.* Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 51, p. 14518-14519, 2016. DOI: 10.1073/pnas.1612103113.

CHOU, C. H. Role of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, n. 1, p. 1-11, 2006. DOI: 10.1080/07352680600563807.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: café – Safra 2023, quarto levantamento**. Brasília: Conab, jan. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café – Maio 2024**. Brasília: CONAB, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café – 1º levantamento, janeiro/2023**. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.

COSTA, E. M. *et al.* Extensão rural e práticas agroecológicas no Espírito Santo. **Cadernos de Extensão Rural**, v. 14, n. 1, p. 89-102, 2021.

CRUZ, L. M. *et al.* Manejo integrado e produtividade do café: uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, e71546, 2021.

CUNHA, T. J. F.; AUGUSTIN, R. B. Adubação verde: alternativa para sustentabilidade agrícola. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 2, p. 28-35, 2014.

EMBRAPA. **Café conilon: uma alternativa rentável e sustentável**. Brasília: Embrapa Café, 2019.

FERRÃO, M. A. *et al.* **Perfil socioeconômico da cafeicultura conilon no Espírito Santo**. Boletim do Incaper, 2019.

FERRÃO, R. G. *et al.* **Avanços na cafeicultura do Espírito Santo: variedades clonais de café conilon**. Vitória: Incaper, 2017. 220 p.

FERREIRA, A. S. *et al.* Influência dos métodos de processamento na qualidade do café. **Coffee Science**, v. 14, n. 2, p. 234-245, 2019.

FERREIRA, R. A. *et al.* Aplicações da biotecnologia na agricultura moderna: avanços e perspectivas. **Biotecnologia & Ciência**, v. 9, n. 1, p. 45-60, 2021.

FOWLER, D. *et al.* The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1621, 2013. DOI: 10.1098/rstb.2013.0164.

FUNDAÇÃO CARGILL. **Manual do produtor rural: cafeicultura**. São Paulo: Fundação Cargill, 1984.

GIRELLI, L. S. **Consórcio de café conilon orgânico com espécies arbóreas e frutíferas é tema de artigo científico**. 2017. Disponível em: <https://bibliotecaruitendinha.incaper.es.gov.br/Not%C3%ADcia/consorcio-de-cafe-conilon-organico-com-especies-arboreas-e-frutiferas-e-tema-de-artigo-cientifico>. Acesso em: 18 out. 2024.

GOMIERO, T.; PAOLETTI, M. G.; PIMENTEL, D. Is there a need for a more sustainable agriculture? **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 30, n. 1-2, p. 6–23, 2011.

GONÇALVES, L. C. et al. Agricultura de precisão e sustentabilidade: tecnologias para o futuro. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 43, n. 2, p. 301-315, 2023.

HUBER, J. Café conilon atinge recorde de preço dos últimos 32 meses. **Revista Negócio Rural**. 2020. Disponível em: <https://www.revistanegociorural.com.br/noticias/cafe-conilon-atinge-recorde-de-preco-dos-ultimos-32-meses/>. Acesso em: 18 out. 2024.

ICO. International Coffee Organization. **The Global Outlook for Coffee 2022**. Londres: ICO, 2022. Disponível em: <https://www.ico.org>. Acesso em: 30 jul. 2025.

IMAFLORA. **Certificações socioambientais no setor cafeeiro**. Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola, 2023. Disponível em: <https://www.imaflora.org>. Acesso em: 28 jun. 2025.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Painel do Café Conilon no Espírito Santo**. Vitória: Incaper, 2024. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br>. Acesso em: 29 jun. 2025.

JONES, A. Soil compaction and its impact on agriculture. **Soil Use and Management**, v. 35, n. 2, p. 114–121, 2019.

KHATOUNIAN, M. Sustentabilidade na agricultura: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Agroecologia**. 2002.

KOCH, C. Cafés certificados e consumo responsável: **oportunidades e desafios**. **Revista Agroecologia Hoje**, v. 11, p. 34-42, 2019.

KUMAR, P.; SHARMA, R. Integrated pest management: principles and practice. **Journal of Plant Protection Research**, v. 60, n. 3, p. 301-317, 2020. DOI: 10.24425/jppr.2020.134528.

LAL, R. Enhancing ecosystem services with no-till. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 35, n. 2, p. 148-157, 2020. DOI: 10.1017/S174217052000016X.

MAKHDOOM, M. *et al.* Cover crops and their potential role in sustainable agriculture: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 45156-45175, 2021.

MALHI, Y. *et al.* Agroforestry systems for climate change mitigation and adaptation: an overview. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 319, 2021. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107564.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Panorama do mercado de café solúvel**. Brasília: MAPA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 30 jul. 2025.

MENDES, F. R. *et al.* Avaliação morfoagronômica e produtiva do café conilon em sistemas consorciados. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 3, 2023.

MORAES, A. S. *et al.* Extensão rural e inovação social: desafios e oportunidades na agricultura familiar. **Revista de Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 15, n. 3, p. 210-225, 2022.

MOTA, J. C.; LIMA, A. C.; REIS, J. F. **Consortiamento de culturas: benefícios e técnicas**. Brasília: Editora Embrapa, 2014.

MUÑOZ, M. A. Adubação verde: uma alternativa agroecológica para o manejo da fertilidade do solo. **Revista Agroecologia Hoje**, n. 1, p. 23-27, 1997.

OLIVEIRA, F. P. *et al.* Microbiologia do solo e biofertilizantes: potencialidades na produção de café. **Ciência Agrônômica**, v. 53, e2021625, 2022.

PEREIRA FILHO, M. G.; CANELLAS, L. P.; SOARES, I. F.; PEREIRA, L. G.; BORGES, G. P.; PEREIRA, C. A. S. Efeito alelopático de crotalárias no controle de plantas invasoras e na produtividade do café conilon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1005-1015, 2015.

PEREIRA, L. L. *et al.* Contribuições dos sistemas agroflorestais à sustentabilidade na cafeicultura. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 191-204, 2021.

PHILIPPOT, L. *et al.* Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. **Nature Reviews Microbiology**, v. 11, n. 11, p. 789-799, 2013. DOI: 10.1038/nrmicro3109.

PIMENTEL, D. *et al.* Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science of The Total Environment**, v. 726, 2020.

POWELL, J. R. *et al.* The role of biodiversity in the sustainability of agricultural systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 292, 2020. DOI: 10.1016/j.agee.2019.106785.

PRIMAVESI, A. M. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 5. ed. São Paulo: Nobel, 2002.

SANTOS, D. L. *et al.* Influência das condições climáticas na produtividade do café conilon. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, n. 4, p. 65–72, 2022.

SCHNEIDER, S.; CASSOL, A. Sistemas sustentáveis de produção agrícola no Brasil: desafios e perspectivas. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 28, n. 2, p. 284-308, 2020.

SEBRAE. **Oportunidades para o café conilon no mercado internacional**. Vitória: SEBRAE-ES, 2021. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SGARBI, A. G. D. **Manual de cultivo do café conilon**. Vitória: Incaper, 2008.

SILVA, A. J. *et al.* Sistemas agroflorestais como estratégia para a agricultura sustentável. **Revista de Agricultura Familiar e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 22-35, 2015.

SILVA, F. F. *et al.* Adubação verde e sua contribuição para a agricultura sustentável. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 1, 2019. DOI: 10.5039/agraria.v14i1a6325.

SILVA, J. A. A importância da matéria orgânica na produção de café. **Revista Brasileira de Café**. 1955.

SILVA, M. C. *et al.* Consorciação de café conilon com crotalária: impacto na produtividade e sustentabilidade. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 112-123, 2021.

SILVA, M. C. *et al.* Extensão rural e capacitação técnica na difusão de práticas sustentáveis. **Revista Brasileira de Extensão Rural**, v. 23, n. 2, p. 85-97, 2009.

SILVA, R. B.; CARVALHO, D. M.; TEIXEIRA, R. S. **Capacitação e treinamento na agricultura sustentável**. Fortaleza: Editora UFC, 2015.

SILVA, T. F. *et al.* Manejo sustentável do solo e conservação ambiental na cafeicultura. **Revista Agroecologia**, v. 17, n. 1, p. 45-60, 2022.

SINGH, B. K. *et al.* Microbial biodiversity and agroecosystem resilience: a review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 151, 2021. DOI: 10.1016/j.soilbio.2020.108028.

SMITH, P. *et al.* Impacts of long-term fertilizer use on soil properties and crop yields. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 111, n. 1, p. 1-15, 2018.

SOUZA, D. M. G.; DAN, L. F.; ARAÚJO, R. S. Adubação verde e manejo do solo na produção de café. **Cadernos de Agroecologia**, 2016.

SOUZA, D. P. *et al.* Sustentabilidade na produção de café conilon: práticas conservacionistas e eficiência produtiva. **Agroecossistemas**, v. 14, n. 1, p. 22-34, 2022.

SOUZA, D.; DAN, A.; ARAÚJO, J. Efeitos do consorciamento de café com espécies arbóreas sobre as características do solo. **Revista Brasileira de Agroecologia**. 2016.

SOUZA, H. N.; DAN, L. G. M.; ARAÚJO, E. S. Adubação verde no cultivo do café: efeitos sobre o solo e a planta. **Informativo Agropecuário**, v. 37, n. 295, p. 18-27, 2016.

TENDÊNCIAS para a sustentabilidade da cafeicultura de conilon. Vitória, ES: **Incaper em Revista**, v. 10, 2019.

TILMAN, D. *et al.* Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 15, e2020452118, 2020. DOI: 10.1073/pnas.2020452118.

TSCHARNTKE, T. *et al.* Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. **Ecology Letters**, v. 15, n. 8, p. 913–924, 2012. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2012.01749.x.

VERDIN FILHO, A. C. *et al.* Clima e cafeicultura: desafios e estratégias para a produção sustentável. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 234-248, 2020.

WANG, J. *et al.* Edição genética e biotecnologia na agricultura: perspectivas futuras. **Journal of Agricultural Biotechnology**, v. 12, n. 4, p. 315-329, 2023.

WANG, K. H. *et al.* Crotalaria as a cover crop for nematode management: a review. **Nematropica**, v. 32, n. 1, p. 35-57, 2002.

WANG, K. H.; SIQUEIRA, C. H.; SORLEY, R. M. C.; GALLAHER, R. N. Efeitos alelopáticos de crotalárias sobre fitonematoides. **Journal of Nematology**. 2002.

ZHANG, X. *et al.* Aplicações de tecnologias digitais na agricultura: uma revisão sistemática. **Precision Agriculture**, v. 22, p. 1243-1264, 2021.

CAPÍTULO 9

Desafios e perspectivas da agricultura sustentável: impactos da agricultura convencional e práticas agroecológicas para a recuperação do solo e da produção de café

Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Regiane Carla Bolzan Carvalho, Karenn Zavarize Bermond, Luana Salvador, Mayra da Silva Polastrelli Lima, Ludmila Lisbôa Porto, Paola Delatorre Rodrigues, Alex Justino Zacarias, Atanásio Alves do Amaral, Juliana de Faria Goronci, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c9>

Resumo

Este trabalho aborda os impactos negativos da agricultura convencional na qualidade do solo e na sustentabilidade dos sistemas produtivos, destacando aspectos como degradação do solo, compactação, perda de biodiversidade e dependência de insumos químicos. Discute-se também a importância de práticas sustentáveis, como rotação de culturas, adubação verde e cobertura do solo, que promovem a recuperação da fertilidade, o aumento da biodiversidade edáfica e a conservação ambiental. A avaliação da produtividade e da qualidade do café é enfatizada como fundamental para o sucesso da cafeicultura sustentável. Por fim, o papel da pesquisa e da inovação é destacado como elemento-chave para o desenvolvimento de sistemas produtivos resilientes e adaptados aos desafios ambientais e econômicos atuais. O texto se fundamenta em referências atualizadas e aponta caminhos para a transição agroecológica, buscando garantir a viabilidade econômica e ambiental da agricultura no longo prazo.

Palavras-Chave: Degradação do solo. Agricultura sustentável. Manejo agroecológico. Biodiversidade do solo. Café. Inovação agrícola. Adubação verde. Rotação de culturas. Sustentabilidade ambiental.

1. Introdução

A agricultura convencional, marcada pelo uso intensivo de insumos químicos — como fertilizantes sintéticos e pesticidas —, tem gerado crescentes preocupações quanto à sustentabilidade dos sistemas produtivos e à qualidade dos solos agrícolas. Embora esse modelo tenha promovido aumentos significativos na produtividade nas últimas décadas, seus impactos negativos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo são amplamente reconhecidos e documentados (Tilman *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2025).

Um dos principais efeitos adversos da agricultura convencional é a degradação da estrutura do solo. O uso contínuo e excessivo de fertilizantes nitrogenados pode provocar acidificação do solo, o que reduz a capacidade de troca de cátions (CTC) e compromete a atividade microbiológica fundamental para a ciclagem de nutrientes. Pesquisas demonstram que a acidificação decorrente da aplicação prolongada de ureia e nitrato de amônio prejudica o desenvolvimento radicular, diminui a retenção hídrica e compromete a produtividade agrícola em longo prazo (Smith *et al.*, 2018; Silva; Souza, 2021).

Adicionalmente, práticas como o preparo frequente do solo com maquinário pesado contribuem para sua compactação, reduzindo a porosidade, dificultando a penetração das raízes e limitando a oxigenação das camadas mais profundas. Esses fatores impactam diretamente a resiliência do sistema solo-planta, tornando-o mais vulnerável a eventos climáticos extremos, como secas e chuvas intensas (Jones, 2019).

Outro aspecto crítico se refere à biodiversidade edáfica. O uso indiscriminado de pesticidas de amplo espectro afeta não apenas as pragas-alvo, mas também organismos benéficos, como anelídeos, artrópodes e microrganismos decompositores. Esses organismos desempenham papéis essenciais na formação do húmus e na decomposição da matéria orgânica. Sua eliminação resulta em declínio da fertilidade natural do solo, aumentando a dependência por insumos externos (Fowler, 2020; Souza *et al.*, 2024b).

Do ponto de vista ambiental, a agricultura convencional também é responsável por significativa poluição do solo e da água. O escoamento superficial que carrega nitratos, fosfatos e resíduos de agrotóxicos pode atingir corpos d'água, favorecendo a eutrofização — um processo de proliferação

excessiva de algas que compromete a qualidade da água e a biodiversidade aquática (Carpenter *et al.*, 2016). Esse fenômeno pode afetar negativamente o abastecimento de água potável e aumentar os custos de tratamento.

Em longo prazo, a manutenção desse modelo produtivo tende a esgotar os nutrientes do solo, dificultando sua regeneração natural e reduzindo sua capacidade de adaptação às mudanças climáticas. Isso cria um ciclo de dependência cada vez maior de fertilizantes e pesticidas, elevando os custos de produção e intensificando os impactos ambientais (Tilman *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2024a).

Diante desses desafios, práticas alternativas vêm sendo cada vez mais promovidas, como a agricultura orgânica, a agroecologia e o manejo agroecológico do solo. Essas abordagens buscam restaurar e conservar os atributos funcionais do solo, baseando-se em princípios ecológicos que priorizam a biodiversidade, a rotação de culturas, o uso de adubação verde, compostos como o bokashi (Souza, 2023), e o controle biológico de pragas (Gomiero *et al.*, 2011; Souza; Souza *et al.*, 2025).

A transição agroecológica representa um caminho promissor para reverter os impactos negativos da agricultura convencional. Ela implica mudanças profundas nos sistemas produtivos, com ênfase na autonomia dos agricultores, no conhecimento tradicional e na sustentabilidade ecológica (Souza *et al.*, 2024c). Além disso, está diretamente vinculada à promoção dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), uma vez que contribui para a segurança alimentar, conservação ambiental e equidade social (Souza *et al.*, 2025).

2. Degradação do solo

A agricultura convencional, alicerçada no uso intensivo de fertilizantes sintéticos e defensivos químicos, é apontada como uma das principais causas da degradação da qualidade dos solos em áreas agrícolas. Essa forma de manejo, muitas vezes desconsiderando a conservação da matéria orgânica e os ciclos naturais do solo, promove alterações substanciais em seus atributos físicos, químicos e biológicos (Primavesi, 2002; Souza *et al.*, 2025) (Figura 1).



Figura 1. Corpo hídrico eutrofizado (presença de macrófitas), resultante da degradação dos solos a montante, com contaminação por nitrogênio (N) e fósforo (P). Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2025.

Entre os efeitos mais severos se destaca a redução da matéria orgânica, elemento fundamental para a manutenção da fertilidade, da estrutura e da capacidade de retenção hídrica do solo. A matéria orgânica funciona como um agente estabilizador, favorecendo a formação de agregados estáveis, ampliando a capacidade de troca de cátions (CTC) e promovendo a retenção eficiente de água e nutrientes (Primavesi, 2002; Silva; Souza, 2021). No entanto, práticas convencionais como a remoção sistemática de resíduos vegetais, a ausência de reposição orgânica e o uso desequilibrado de adubos minerais comprometem esses benefícios, resultando em solos compactados, empobrecidos e com baixa capacidade de suporte às culturas (Figura 2).

Adicionalmente, o uso frequente e indiscriminado de insumos químicos impacta diretamente a biota do solo. A perda de diversidade microbiana, essencial para a decomposição da matéria orgânica e para a ciclagem de nutrientes, fragiliza o sistema edáfico, tornando-o mais vulnerável ao aparecimento de pragas e doenças. Esse desequilíbrio biológico favorece um ciclo de dependência progressiva de agroquímicos, perpetuando a degradação e ampliando os custos de produção (Souza *et al.*, 2024a; Primavesi, 2002).



Figura 2. Pastagem degradada devido à ausência de práticas conservacionistas e redução da matéria orgânica. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2025.

Em médio e longo prazo, os efeitos dessa degradação extrapolam os limites produtivos, comprometendo a sustentabilidade dos agroecossistemas. Entre os impactos mais evidentes estão o empobrecimento da biodiversidade do solo, a deterioração da qualidade da água, alterações no microclima local e a intensificação de processos erosivos — que, em áreas suscetíveis, podem evoluir para a formação de voçorocas, sobretudo em solos desprotegidos e de baixa coesão (Souza *et al.*, 2024b; Primavesi, 2002).

Nesse contexto, torna-se indispensável a transição para práticas agrícolas sustentáveis que favoreçam a regeneração do solo. Estratégias como a rotação de culturas, a adubação verde e o manejo ecológico da fertilidade permitem restaurar a matéria orgânica, melhorar a estrutura e a atividade biológica do solo, além de aumentar sua resiliência. A rotação de culturas quebra os ciclos de patógenos, melhora o equilíbrio nutricional e diversifica os sistemas produtivos. Já a adubação verde, sobretudo com leguminosas, contribui com a fixação biológica de nitrogênio, promove a descompactação do solo e enriquece seu conteúdo orgânico (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007; Souza *et al.*, 2024c).

Portanto, o manejo sustentável do solo — com ênfase na recomposição da matéria orgânica, no estímulo à atividade biológica e na valorização dos processos ecológicos — é condição indispensável para reverter os danos provocados pela agricultura convencional. Essa abordagem é essencial para assegurar a resiliência dos sistemas produtivos, garantir a viabilidade da

produção agrícola e contribuir para a realização dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Souza *et al.*, 2025) (Figura 3).



Figura 3. Cafezal cultivado em sistema agroflorestal (SAF), em consórcio com frutíferas e leguminosas, com manejo do mato e uso de práticas conservacionistas. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2025.

3. Dependência de insumos

A agricultura convencional se caracteriza por uma crescente dependência de insumos químicos, como fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas, configurando um ciclo vicioso que compromete tanto a resiliência dos solos quanto a sustentabilidade da produção agrícola. O uso contínuo e intensivo desses insumos não apenas acelera a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como também contribui para a contaminação dos recursos hídricos, prejudicando a saúde dos ecossistemas e limitando a capacidade autorreguladora dos sistemas edáficos (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007; Souza *et al.*, 2025a).

Essa dependência impõe aos agricultores a necessidade de aplicação progressiva de doses cada vez maiores de fertilizantes e pesticidas para manter níveis mínimos de produtividade. Essa lógica intensiva eleva significativamente os custos de produção, tornando as propriedades rurais vulneráveis às oscilações dos preços dos insumos no mercado internacional e à instabilidade

das cadeias de suprimentos (Souza *et al.*, 2025b). Além disso, a aplicação excessiva e prolongada de produtos químicos compromete a biodiversidade edáfica — afetando microrganismos, invertebrados e outros organismos essenciais à ciclagem de nutrientes —, com repercussões negativas para a fertilidade do solo e, em casos extremos, para a saúde humana, por meio da entrada de resíduos químicos na cadeia alimentar (Figura 4).



Figura 4. Impactos do uso de agrotóxicos. Fonte: https://ipsaglobal.org/wp-content/uploads/2024/05/Impacts_of_Pesticides_Use.pdf.

Do ponto de vista ambiental, os impactos dessa dependência são alarmantes. O excesso de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, oriundos da adubação mineral, frequentemente é transportado por escoamento superficial para corpos hídricos, promovendo processos de eutrofização em rios, lagos e reservatórios. Esse fenômeno compromete a qualidade da água, provoca a morte de organismos aquáticos e reduz a biodiversidade (Carpenter *et al.*, 2016). Paralelamente, a aplicação recorrente de pesticidas favorece a seleção de pragas resistentes, exigindo a utilização de doses ainda maiores ou a substituição por substâncias mais tóxicas, o que perpetua o ciclo de degradação ambiental e sanitária (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007).

Frente a esses desafios, diversas abordagens têm sido promovidas como alternativas sustentáveis ao modelo convencional. A agricultura orgânica, a

agroecologia e o manejo agroecológico do solo constituem estratégias que visam reduzir a dependência de insumos externos, restaurar a fertilidade natural e valorizar os processos ecológicos. A rotação de culturas, o uso de adubação verde e a introdução de compostos orgânicos, como o bokashi, promovem a recuperação da matéria orgânica, fortalecem a microbiota do solo e melhoram o equilíbrio dos agroecossistemas (Souza *et al.*, 2024a; Souza, 2023; Souza *et al.*, 2025a) (Figura 5).



Figura 5. Manejo agroecológico do solo. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2025.

Essas práticas não apenas contribuem para a melhoria da qualidade do solo, mas também reduzem os custos operacionais, aumentam a eficiência dos sistemas produtivos e os tornam mais resilientes às mudanças climáticas e às instabilidades econômicas. Como destacam Souza *et al.* (2025b), a recuperação de áreas degradadas por meio da reabilitação ambiental exige a substituição de práticas exaustivas por manejos regenerativos, fundamentados na integração entre ciência, conhecimento tradicional e princípios ecológicos.

Assim, a transição para modelos de produção mais sustentáveis é fundamental para romper com a lógica da dependência química. Trata-se de uma estratégia indispensável não apenas para garantir a viabilidade econômica e ambiental da agricultura, mas também para promover uma produção equilibrada, socialmente justa e ecologicamente duradoura (Souza *et al.*, 2024c; Souza *et al.*, 2025b).

4. Compactação do solo

A mecanização intensiva e o tráfego constante de máquinas pesadas sobre as áreas agrícolas constituem fatores determinantes para a compactação do solo. A passagem frequente de tratores, colheitadeiras e outros equipamentos promove a compressão das partículas do solo, reduzindo sua porosidade e aeração — condições essenciais para o desenvolvimento radicular saudável e para a absorção adequada de água e nutrientes pelas plantas (Primavesi, 2002; Souza *et al.*, 2025a). Como consequência, ocorre limitação do crescimento das raízes, o que compromete diretamente o vigor das plantas e a produtividade das culturas.

Além disso, a compactação reduz drasticamente a taxa de infiltração da água no solo, favorecendo o escoamento superficial e intensificando os processos erosivos. Essa dinâmica não apenas acarreta a perda de nutrientes essenciais, como também contribui para a degradação estrutural do solo, exigindo volumes maiores de irrigação e adubação para manter níveis produtivos aceitáveis. Tais exigências elevam os custos operacionais e aumentam o risco de contaminação ambiental devido ao uso excessivo de fertilizantes e defensivos (Souza *et al.*, 2025b; Primavesi, 2002).

Frente a esse cenário, diversas estratégias de manejo têm sido recomendadas para mitigar os impactos da compactação. A utilização de maquinário com pneus de maior largura e menor pressão de contato ajuda a distribuir melhor o peso sobre a superfície do solo, reduzindo a compactação. O uso de sistemas de cultivo mínimo, aliando técnicas de manejo conservacionista e tecnologias de agricultura de precisão, tem demonstrado eficácia na preservação da estrutura física do solo e na promoção de um ambiente mais propício ao desenvolvimento das culturas (Souza *et al.*, 2024b; Souza *et al.*, 2025a) (Figura 6).

Práticas agroecológicas e conservacionistas, como a cobertura vegetal permanente e a rotação de culturas, desempenham papel fundamental na prevenção e reversão da compactação. A cobertura vegetal atua como proteção natural contra o impacto direto das chuvas, contribuindo para o aumento da matéria orgânica e favorecendo a formação de agregados estáveis. A rotação de culturas, por sua vez, amplia a diversidade radicular, promovendo a bioturbação e

melhorando a porosidade e a aeração do solo (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007; Souza *et al.*, 2024c) (Figura 7).



Figura 6. Sistema de cultivo mínimo aliado às técnicas de manejo conservacionista. Fonte: Dário Rodrigues, 2025.

Essas práticas são essenciais não apenas para reverter os danos físicos causados pela mecanização intensiva, mas também para restaurar a funcionalidade do solo enquanto sistema vivo e dinâmico. A adoção de abordagens ecológicas no manejo do solo contribui para o aumento da infiltração da água, o controle da erosão, a conservação da fertilidade e a manutenção da produtividade agrícola em longo prazo — elementos indispensáveis à sustentabilidade dos agroecossistemas (Souza *et al.*, 2025b).



Figura 7. Sistema agroflorestal (SAF) e mato nas entrelinhas: aliados às técnicas de manejo conservacionista. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2025.

5. Perda de biodiversidade

A agricultura convencional, ao priorizar sistemas produtivos baseados em monoculturas, contribui significativamente para a redução da biodiversidade nos agroecossistemas. O cultivo extensivo e contínuo de uma única espécie vegetal reduz a complexidade ecológica das áreas agrícolas, limitando a variedade de recursos alimentares e habitats disponíveis para polinizadores, inimigos naturais de pragas, microrganismos e demais organismos benéficos à dinâmica do solo (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007; Singh *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2024b).

Essa simplificação biológica compromete funções ecológicas essenciais, como a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e o controle natural de fitopatógenos. A homogeneidade dos sistemas favorece ainda a adaptação e a proliferação de pragas e doenças específicas, o que estimula o uso crescente de defensivos químicos e reforça o ciclo de degradação ambiental e de dependência de insumos externos (Philippot *et al.*, 2013; Powell *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2025a).

Além dos impactos diretos sobre a fauna e flora do solo, a perda de biodiversidade repercute negativamente sobre os atributos físicos e químicos do ambiente edáfico. A redução da diversidade microbiológica e da fauna do solo compromete a formação de agregados estáveis, reduz a capacidade de retenção de água e nutrientes e diminui a resiliência do sistema frente a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas. Como resultado, intensificam-se os processos erosivos e as perdas de fertilidade (Tschardt *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2025b).

Nesse contexto, práticas de diversificação agrícola emergem como alternativas estratégicas para restaurar e conservar a biodiversidade funcional dos agroecossistemas (Figura 8). A rotação de culturas, por exemplo, rompe o ciclo de pragas e doenças, melhora o balanço nutricional do solo e promove diferentes formas de ocupação radicular, o que favorece a porosidade e a atividade biológica. Já os sistemas agroflorestais, ao integrar espécies arbóreas e arbustivas com culturas agrícolas, ampliam a diversidade estrutural e funcional da paisagem, oferecendo abrigo e alimento a diversos organismos do solo e da fauna silvestre, além de melhorar o microclima e reduzir a pressão antrópica (Altieri; Nicholls; Vazquez, 2007; Malhi *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2024c).



Figura 8. Impactos das plantas de cobertura na biodiversidade do solo. Fonte: <https://agrotecnico.com.br/impacto-das-plantas-de-cobertura-na-biodiversidade-do-solo/>.

O manejo integrado de pragas (MIP), aliado à adubação verde, também potencializa os efeitos positivos da diversificação. O MIP reduz a dependência de pesticidas sintéticos ao integrar práticas culturais, biológicas e físicas no controle de pragas, promovendo equilíbrio ecológico. Por sua vez, a adubação verde contribui com o aporte de matéria orgânica, melhora a fertilidade e estimula a diversidade microbiana do solo (Kumar; Sharma, 2020; Souza, 2023).

Essas abordagens integradas constituem pilares de uma agricultura mais sustentável, resiliente e menos dependente de insumos externos. Além de favorecerem a conservação ambiental, essas práticas ampliam a viabilidade econômica dos sistemas produtivos em médio e longo prazo, promovendo a transição para modelos mais equilibrados e socialmente justos (Souza *et al.*, 2025a; Souza *et al.*, 2025b).

6. Práticas de manejo sustentáveis

As práticas de manejo sustentável desempenham papel central na promoção da saúde do solo e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Fundamentadas em princípios ecológicos, essas práticas buscam restaurar os serviços ecossistêmicos do solo, aumentar sua resiliência frente às mudanças

climáticas e reduzir a dependência de insumos químicos sintéticos (Altieri, 2018; Souza *et al.*, 2025a).

Dentre essas estratégias, a rotação de culturas se destaca por sua eficácia na melhoria do equilíbrio nutricional do solo, no controle biológico de pragas e doenças e na promoção da diversidade vegetal e microbiana. A alternância planejada de espécies cultivadas ao longo do tempo reduz o esgotamento de nutrientes específicos, promove a ocupação diferenciada do perfil do solo pelas raízes e contribui para o fortalecimento dos mecanismos naturais de regeneração (Lal, 2020; Souza *et al.*, 2024c).

Outra prática de destaque é o uso de culturas de cobertura, semeadas durante o pousio ou nos intervalos entre as safras. Essas espécies contribuem para a adição de matéria orgânica, melhoram a retenção hídrica, reduzem perdas por erosão e auxiliam no controle de plantas daninhas. Além disso, atuam na regulação térmica e hídrica da superfície do solo, criando um microclima mais favorável às culturas comerciais subsequentes (Silva *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2025b).

A adubação verde, especialmente com leguminosas, é uma técnica amplamente difundida por seus benefícios à fertilidade natural do solo e à biodiversidade edáfica (Figura 9).



Figura 9. Adubação verde e nutrição equilibrada no cafezal. Fonte: Lúcio Martins Neto. Disponível em: <https://camponegocios.com/adubacao-verde-a-nutricao-equilibra-que-seu-cafezal-merece/>.

Por meio da fixação biológica de nitrogênio, essas plantas enriquecem o solo com nutrientes acessíveis e melhoram sua estrutura física, favorecendo a formação de agregados estáveis e a ciclagem de nutrientes. Adicionalmente, contribuem para a redução da erosão e para a diminuição da necessidade de fertilizantes industriais, promovendo ganhos econômicos e ambientais (Calegari, 1995; Silva *et al.*, 2019; Souza, 2023).

A adoção eficaz dessas práticas demanda conhecimento técnico, planejamento agronômico e integração entre agricultores, extensionistas e instituições de pesquisa. O sucesso dos sistemas sustentáveis está diretamente relacionado ao domínio sobre os períodos ideais de plantio, ao manejo correto das espécies utilizadas e às técnicas de consorciamento adaptadas às condições locais (Calegari, 1995; Souza *et al.*, 2025c).

Dessa forma, o manejo sustentável do solo, baseado na rotação de culturas, adubação verde e uso de culturas de cobertura, constitui um conjunto de estratégias sinérgicas que promovem a produtividade agrícola, a conservação ambiental e a viabilidade econômica em longo prazo. Tais práticas são fundamentais para a construção de sistemas produtivos mais resilientes, integrados ao meio ambiente e alinhados com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Souza *et al.*, 2025d).

7. Benefícios da cobertura do solo

A cobertura do solo por meio da adubação verde configura-se como uma das práticas mais eficazes para a conservação e o manejo sustentável dos agroecossistemas. O uso de plantas de cobertura — como leguminosas e gramíneas — oferece múltiplos benefícios agronômicos e ecológicos, promovendo a proteção da superfície do solo, a conservação da umidade, a retenção de nutrientes e o aumento da matéria orgânica (Figura 10). Esses benefícios são fundamentais para o equilíbrio dos processos edáficos e para a construção de sistemas produtivos mais resilientes (Lal, 2020; Brussard *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2025a).

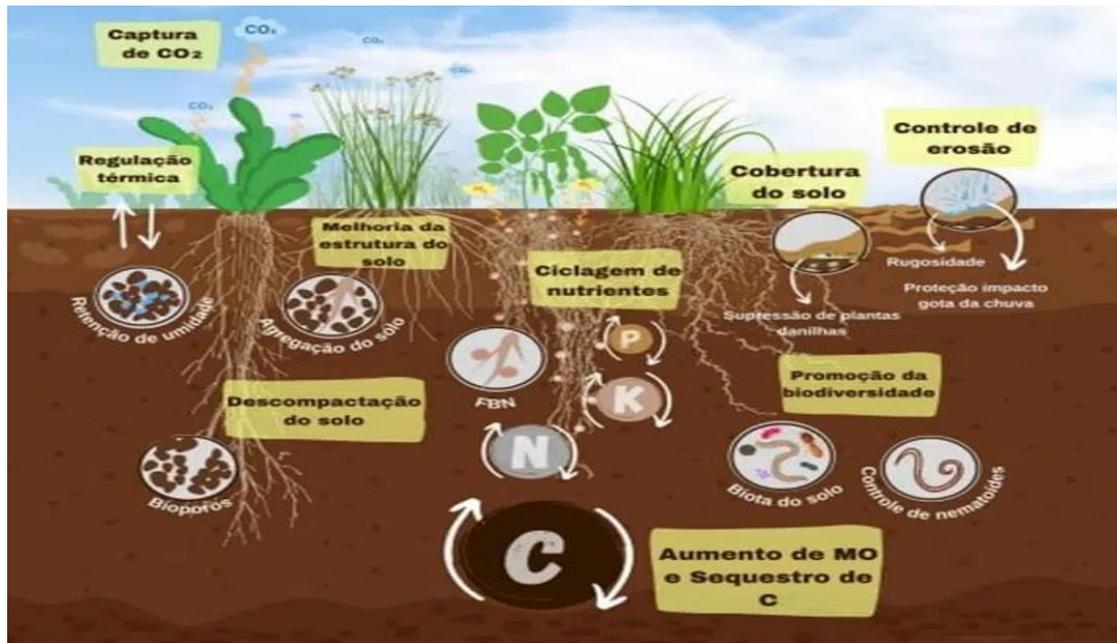


Figura 10. Benefícios fornecidos pela utilização de plantas de cobertura/adubação verde. Fonte: Cherubin, 2022. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-leguminosas-e-adubacao-verde/>.

As plantas de cobertura atuam na redução da evaporação da água, mantendo a umidade do solo por mais tempo, além de protegerem contra a erosão hídrica e eólica. Ao formar uma camada vegetativa sobre o solo, essas espécies diminuem o impacto direto das gotas de chuva, reduzindo o escoamento superficial e a perda de nutrientes por lixiviação. A decomposição da biomassa vegetal enriquecida em carbono contribui para o aumento do teor de matéria orgânica, elemento essencial para a fertilidade, a estrutura e a vida do solo (Silva, 1955; Altieri, 2018; Makhdoom *et al.*, 2021).

Em ambientes tropicais, onde as altas temperaturas e as chuvas intensas aceleram a mineralização e a decomposição da matéria orgânica, o uso de plantas de cobertura é ainda mais estratégico. Nesses contextos, a adubação verde atua como um mecanismo de conservação dos nutrientes e de manutenção da estrutura física e biológica do solo. Essa prática favorece o equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos e melhora atributos como a capacidade de infiltração da água, a agregação das partículas e a atividade microbiana, fundamentais para a resiliência dos sistemas agrícolas frente a distúrbios climáticos (Souza *et al.*, 2024b; Souza *et al.*, 2025b).

Além dos ganhos diretos sobre a produtividade das culturas, a cobertura do solo promove efeitos indiretos altamente positivos sobre a saúde dos agroecossistemas. A presença contínua de cobertura vegetal contribui para a conservação da biodiversidade edáfica, protege os recursos hídricos, reduz a temperatura do solo e limita o crescimento de plantas invasoras. Tais benefícios são essenciais não apenas para a sustentabilidade da produção, mas também para a proteção ambiental em sentido amplo (Pimentel *et al.*, 2020; Lal, 2020; Souza *et al.*, 2025c).

As estratégias de cobertura do solo também têm sido associadas a processos de recuperação ambiental, especialmente em áreas contaminadas por agroquímicos e metais pesados. Estudos recentes demonstram que, quando bem manejadas, plantas utilizadas na adubação verde podem atuar como agentes fitorremediadores, promovendo a absorção, imobilização ou transformação de contaminantes, contribuindo para a reabilitação de solos degradados (Souza *et al.*, 2025d).

Assim, a cobertura do solo por adubação verde deve ser compreendida como uma prática multifuncional e estratégica dentro dos sistemas sustentáveis de produção agrícola. Ela representa uma aliança entre produtividade e conservação ambiental, articulando saúde do solo, economia de insumos, mitigação de impactos ambientais e restauração ecológica.

8. Avaliação da produtividade e qualidade do café

A avaliação da produtividade e da qualidade do café constitui etapa essencial para assegurar a eficiência dos sistemas de produção, a sustentabilidade das práticas agrícolas e a competitividade do produto nos mercados nacional e internacional. A produtividade do cafeeiro, usualmente expressa em sacas por hectare, é condicionada por múltiplos fatores interativos, como as características genéticas da cultivar, as condições edafoclimáticas, o manejo do solo, a adubação, a poda, o controle fitossanitário e as técnicas agronômicas adotadas (Cruz *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2025a).

A implementação de práticas integradas de manejo, aliando adubação balanceada, controle biológico de pragas, práticas conservacionistas e poda adequada, é decisiva para garantir elevados níveis de produtividade com sustentabilidade. Nesse contexto, os sistemas produtivos que incorporam princípios agroecológicos e tecnologias adaptadas às realidades locais promovem maior eficiência agrônômica e menor impacto ambiental (Mendes *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2024c).

A qualidade do café, por sua vez, é um atributo multidimensional e determinante para o valor de mercado do produto. Ela é avaliada com base em parâmetros físicos (uniformidade dos grãos, ausência de defeitos, peneira) e sensoriais (aroma, acidez, corpo, sabor, finalização e balanço), definidos por meio da análise sensorial conduzida por classificadores treinados. A expressão desses atributos está diretamente relacionada às interações entre fatores genéticos, ambientais e ao manejo durante o cultivo, colheita e pós-colheita (Barbosa *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2025b).

Técnicas pós-colheita, como a secagem controlada, a fermentação direcionada e o armazenamento em condições adequadas, são fundamentais para preservar e realçar as qualidades sensoriais dos grãos, principalmente quando o objetivo é produzir cafés especiais (Figura 11). O uso de práticas sustentáveis na lavoura, como a adubação verde com crotalárias, o cultivo consorciado e a cobertura do solo, também tem mostrado efeitos positivos tanto sobre a qualidade quanto sobre a produtividade, ao melhorar a estrutura do solo, a nutrição das plantas e o microclima da lavoura (Silva *et al.*, 2021; Souza, 2023).

A avaliação morfoagronômica do cafeeiro em sistemas alternativos de cultivo — considerando parâmetros como o vigor vegetativo, a sanidade das plantas, o enfolhamento e a conformação da copa — é essencial para validar o desempenho produtivo e a qualidade dos grãos nesses contextos. Além disso, indicadores como índice SPAD², índice de robustez e qualidade sensorial vêm sendo utilizados como ferramentas complementares de monitoramento e tomada de decisão (Mendes *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2025c).

² O índice SPAD (do inglês *Soil Plant Analysis Development*) é uma medida indireta do teor de clorofila nas folhas das plantas, utilizada para estimar o estado nutricional, especialmente em relação ao nitrogênio.



Figura 11. Secagem do café em terreiro suspenso: melhoria da qualidade sensorial dos grãos. Fonte: Acervo Mayra Polastrelli, 2025.

Dessa forma, a avaliação contínua da produtividade e da qualidade do café, aliada à implementação de boas práticas agrícolas, de manejo agroecológico e de inovação tecnológica, constitui uma estratégia central para a construção de sistemas cafeeiros resilientes, economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, em consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Souza *et al.*, 2025d).

9. Contribuições para a pesquisa e inovação

A pesquisa científica e a inovação tecnológica ocupam um papel central no avanço da agricultura contemporânea, proporcionando soluções para desafios históricos e emergentes e promovendo a sustentabilidade, a eficiência produtiva e a adaptação dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas. No âmbito do melhoramento genético, os avanços em biotecnologia — como a seleção assistida por marcadores moleculares e a edição gênica — têm possibilitado o desenvolvimento de cultivares mais resistentes a doenças, pragas e estresses abióticos, além de promover maior eficiência no uso de recursos como água e nutrientes (Ferreira *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2023).

Essas inovações contribuem diretamente para o aumento da produtividade, a estabilidade das lavouras e a melhoria da qualidade sensorial dos produtos

agrícolas, como o café. No contexto da cafeicultura, a utilização de cultivares adaptadas a diferentes altitudes, solos e regimes hídricos tem sido estratégica para a ampliação da produção com sustentabilidade (Souza *et al.*, 2025a).

Paralelamente, as inovações em práticas de manejo sustentável têm impulsionado a transição agroecológica e a agricultura regenerativa. A adoção de técnicas como adubação verde, consorciação de culturas, rotação de espécies, manejo integrado de pragas (MIP), uso de bioinsumos e cobertura do solo tem mostrado impactos positivos na saúde do solo, na redução da dependência de insumos químicos e na melhoria dos serviços ecossistêmicos (Altieri, 2018; Lal, 2020; Silva *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2025b).

A integração dessas práticas com recursos da agricultura de precisão tem revolucionado o setor agrícola, permitindo um gerenciamento mais eficiente e localizado das variáveis do sistema produtivo. Ferramentas como drones, sensores remotos, imagens de satélite, SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e análise de big data possibilitam o monitoramento em tempo real do solo, da vegetação e das condições climáticas (Figura 12). Esses recursos tecnológicos promovem a aplicação racional de insumos, resultando em aumento da produtividade, da qualidade do produto final e na redução dos impactos ambientais (ZHANG *et al.*, 2021; GONÇALVES *et al.*, 2023).



Figura 12. Imagem de drone e sensores remotos na área da cafeicultura do Ifes campus de Alegre. Fonte: Acervo Jéferson Ferrari, 2025.

Na cafeicultura, o uso de microrganismos promotores de crescimento, como bactérias fixadoras de nitrogênio, fungos micorrízicos e actinobactérias, tem se destacado como alternativa promissora para o incremento da eficiência nutricional e a substituição parcial de fertilizantes minerais. Os biofertilizantes à base de microrganismos benéficos, associados à matéria orgânica e à adubação verde, contribuem para a melhoria da estrutura e fertilidade do solo, reforçando o papel dos processos biológicos no manejo agrícola sustentável (Ambrosano, 2009; Oliveira *et al.*, 2022; Souza, 2023).

Além do desenvolvimento tecnológico, a disseminação do conhecimento e a capacitação técnica dos agricultores são pilares fundamentais para a consolidação das inovações no campo. A atuação de programas de extensão rural, cooperativas agropecuárias, escolas familiares agrícolas, e a articulação entre universidades, centros de pesquisa e comunidades rurais têm se mostrado eficazes para promover o acesso à informação e fomentar a inovação social. Essa aproximação entre ciência, tecnologia e prática agrícola é decisivo para construir uma agricultura mais resiliente, participativa e adaptada às realidades locais (Silva *et al.*, 2009; Moraes *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2025c).

Dessa forma, as contribuições da pesquisa e da inovação tecnológica não apenas aprimoram os índices produtivos e qualitativos da agricultura, mas também fortalecem a sustentabilidade ambiental, a soberania alimentar e a viabilidade econômica das propriedades rurais, promovendo a transição para sistemas agrícolas mais equilibrados, justos e regenerativos.

10. Considerações

A agricultura convencional, amplamente difundida nas últimas décadas, foi responsável por expressivos avanços na produtividade agrícola mundial. No entanto, seu modelo produtivista, centrado no uso intensivo de insumos químicos e na homogeneização dos sistemas de cultivo, tem provocado impactos severos nos ecossistemas e comprometido a sustentabilidade em longo prazo. A degradação dos solos, a compactação, a redução da biodiversidade, a dependência crescente de fertilizantes e pesticidas e a contaminação dos

recursos hídricos representam consequências diretas de práticas que desconsideram os limites ecológicos dos sistemas naturais.

As evidências apresentadas ao longo deste trabalho demonstram que a saúde do solo é um elemento-chave para garantir a resiliência dos agroecossistemas e a viabilidade da produção agrícola. A perda de matéria orgânica, a diminuição da atividade biológica e a acidificação decorrente do uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos afetam negativamente a estrutura e a fertilidade do solo. Além disso, a mecanização intensiva e o tráfego constante de máquinas pesadas agravam o problema ao reduzir a porosidade e dificultar a penetração radicular, elevando os riscos de erosão e perdas por escoamento superficial.

Diante desse cenário, práticas agroecológicas e de manejo sustentável despontam como caminhos viáveis e necessários para a construção de uma agricultura mais equilibrada, produtiva e ambientalmente responsável. Estratégias como a rotação de culturas, a adubação verde, a cobertura do solo e o uso de bioinsumos oferecem múltiplos benefícios, como a restauração da fertilidade, o aumento da matéria orgânica, a proteção contra erosão e a redução da dependência de insumos químicos. A diversificação dos sistemas produtivos contribui ainda para o fortalecimento da biodiversidade funcional, promovendo maior resiliência frente a pragas, doenças e eventos climáticos extremos.

No contexto específico da cafeicultura, a adoção de práticas sustentáveis associadas ao monitoramento contínuo da produtividade e da qualidade dos grãos é fundamental para assegurar um produto competitivo e ambientalmente compatível com as exigências do mercado atual. Estudos sobre o uso de adubação verde com leguminosas, biofertilizantes e consórcios agroflorestais têm evidenciado ganhos significativos na saúde do solo e na qualidade sensorial do café.

A pesquisa científica e a inovação tecnológica desempenham papel essencial nesse processo de transição. A biotecnologia, a agricultura de precisão e os estudos sobre microbiologia do solo ampliam as possibilidades de manejo eficiente, adaptado às condições locais e orientado para a sustentabilidade. A integração entre conhecimento tradicional, ciência e extensão rural é, portanto,

fundamental para promover a adoção de práticas regenerativas e para fomentar processos de inovação social no campo.

Conclui-se, portanto, que repensar os modelos produtivos, incorporando os princípios da agroecologia e da sustentabilidade, é uma urgência diante dos desafios ambientais, econômicos e sociais do século XXI. A transição para sistemas agrícolas mais resilientes depende da valorização do solo como um organismo vivo e multifuncional, da articulação entre diferentes saberes e da construção de políticas públicas que incentivem a pesquisa, a capacitação técnica e o apoio às experiências exitosas de base agroecológica. Só assim será possível garantir segurança alimentar, conservação dos recursos naturais e justiça socioambiental no meio rural.

11. Referências

- ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2018.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; VAZQUEZ, L. Agroecologia: bases científicas para una agricultura sustentable. **Revista de Agroecologia**, v. 2, n. 3, p. 45-79, 2007.
- AMBROSANO, E. J. Biofertilizantes e suas aplicações na agricultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1231-1240, 2009.
- BARBOSA, L. A. *et al.* Avaliação da qualidade sensorial do café: métodos e aplicações. **Revista Brasileira de Agricultura**, v. 75, n. 4, p. 350-367, 2020.
- BRUSSARD, L. *et al.* Soil biodiversity for agricultural sustainability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 220, p. 23-28, 2018.
- CALEGARI, A. **Adubação verde**: fundamentos e práticas. Jaboticabal: FUNEP, 1995.
- CARPENTER, S. R. *et al.* Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, v. 8, n. 3, p. 559-568, 2016.
- CRUZ, A. P. *et al.* Manejo sustentável do cafeeiro e produtividade: uma revisão. **Ciência Agrônômica**, v. 52, n. 3, p. 345-358, 2021.
- FERREIRA, R. A. *et al.* Técnicas de pós-colheita para preservação da qualidade do café. **Revista Brasileira de Pós-Colheita**, v. 16, n. 2, p. 115-130, 2019.
- FERREIRA, T. M. *et al.* Aplicações da biotecnologia na agricultura. **Ciência Rural**, v. 51, n. 7, p. e20210010, 2021.

FOWLER, S. J. Soil biodiversity and its role in ecosystem services. **Soil Biology**, v. 12, p. 150-172, 2020.

GOMIERO, T. *et al.* Agroecologia e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 41, n. 2, p. 346-355, 2011.

GONÇALVES, J. A. *et al.* Agricultura de precisão: tecnologias emergentes para o manejo sustentável. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 5, p. 389-398, 2023.

JONES, D. Soil compaction and its impact on root growth. **Journal of Soil Science**, v. 70, n. 2, p. 227-234, 2019.

KUMAR, S.; SHARMA, R. Integrated pest management for sustainable agriculture. **Pest Management Science**, v. 76, n. 1, p. 12-24, 2020.

LAL, R. Soil health and sustainable agriculture. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 2, p. 1019-1027, 2020.

MAKHDOOM, M. A. *et al.* Impact of cover crops on soil health and crop productivity in tropical regions. **Soil Use and Management**, v. 37, n. 3, p. 514-523, 2021.

MALHI, S. S. *et al.* Agroforestry systems and biodiversity conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 490, 119098, 2021.

MENDES, F. A. *et al.* Avaliação morfoagronômica e produtiva de cafeeiros em sistemas consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, p. e20220345, 2023.

MORAES, P. F. *et al.* Extensão rural e inovação social na agricultura familiar. **Revista de Desenvolvimento Rural**, v. 18, n. 2, p. 45-62, 2022.

OLIVEIRA, J. F. *et al.* Microrganismos benéficos no manejo do solo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0210150, 2022.

PHILIPPOT, L. *et al.* Microbial diversity and functions in soil. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 44, p. 173-192, 2013.

PIMENTEL, D. *et al.* Environmental and economic benefits of cover cropping. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 297, 106928, 2020.

POWELL, J. R. *et al.* The effects of monoculture agriculture on soil biodiversity. **Ecological Applications**, v. 30, n. 6, e02115, 2020.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura na preservação da vida**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 2002.

SANTOS, R. M. *et al.* Fatores que influenciam a produtividade do café no Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura**, v. 77, n. 1, p. 89-105, 2022.

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N. **Produção de café orgânico**: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural. Beau Bassin, Mauritius: Novas Edições Acadêmicas, 2021. 72 p. ISBN 978-620-2-80825-2.

SILVA, R. T. *et al.* Agricultura sustentável e adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e0180143, 2019.

SILVA, V. S. *et al.* Extensão rural e capacitação para inovação social. **Revista Agroecologia**, v. 5, n. 1, p. 12-25, 2009.

SILVA, Y. P. Cobertura do solo e sustentabilidade em sistemas agrícolas tropicais. **Revista Brasileira de Agricultura Tropical**, v. 5, n. 2, p. 100-108, 1955.

SILVA, Z. R. *et al.* Práticas sustentáveis na cafeicultura. **Revista Científica de Agronomia**, v. 14, n. 1, p. 45-60, 2022.

SINGH, B. K. *et al.* Soil biodiversity under conventional and organic farming systems. **Science of the Total Environment**, v. 765, 144317, 2021.

SOUZA, D. S. M. *et al.* Estratégias de recuperação ambiental em solos contaminados por agroquímicos e metais pesados: técnicas de engenharia e fitorremediação. In: SOUZA, M. N. (Org.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas, Vol. X**. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. p. 140-162. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c4>.

SOUZA, E. L. de S. *et al.* Desafios e perspectivas da agroecologia para alcançar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável. In: SOUZA, M. N. (Org.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas, Vol. IX**. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. p. 45-69. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c1>.

SOUZA, I. I. de M. *et al.* Aspectos fundamentais da transição agroecológica. In: SOUZA, M. N. (Org.). **Tópicos em gestão ambiental, Vol. I**. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 130-165. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0.c4>.

SOUZA, J. L. de. **Bokashi orgânico**: o que é, como preparar e como aplicar. Cursos CPT, 2023.

SOUZA, M. N. (Org.). **Tópicos em gestão ambiental, Vol. III**. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. 311 p. ISBN 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5>.

SOUZA, M. N. (Org.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas, Vol. X**. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. p. 44-67. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3>.

SOUZA, M. N.; MAGALHÃES, M. V. D. de; LOPES, L. B.; AMARAL, A. A. do; MUNIZ, F.; PANCOTTO, T. A. Transição sustentável: caminhos para a construção de sistemas produtivos resilientes. In: SOUZA, M. N. (Org.). **Tópicos**

em recuperação de áreas degradadas, Vol. X. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. p. 68-111. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c2>.

SOUZA, M. N.; NASCIMENTO, L. M.; BIGHI, A. R.; FIM, B. P.; PIMENTA, C. D.; CARVALHO, R. C. B.; PINTO, G. P.; SARAIVA, U.; MASSARIOL, B. P.; MORELI, R. C.; AMARAL, A. A. do. Recuperação de áreas degradadas: fundamentos e objetivos da reabilitação ambiental. In: SOUZA, M. N. (Org.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas, Vol. X.** Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. p. 44-67. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c1>.

WANG, Y. et al. Advances in molecular breeding and genome editing for crop improvement. **Trends in Plant Science**, v. 28, n. 4, p. 358-372, 2023.

ZHANG, X. et al. Application of big data in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 185, p. 106125, 2021.

CAPÍTULO 10

Café, solo e saber: a educação ambiental como instrumento de sustentabilidade na agroecologia

Fabio Gomes Zampieri, Flavia Ribeiro Oliveira Zampieri, Paloma Imaculada de Oliveira Besteti, Maria Angélica Alves da Silva Souza, Karenn Zavarize Bermond, Clarissa Alves de Novaes, Thiara Azevedo Pancotto, Ana Lídia Chaves Gomes, Gabriela Alves de Novaes, Flávia Muniz, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-35-0.c10>

Resumo

A Educação Ambiental (EA) configura-se como uma ferramenta fundamental na transformação da cafeicultura convencional, ao promover a conscientização crítica e a tomada de decisões voltadas à sustentabilidade. Seu papel é essencial na disseminação de conhecimentos sobre práticas agrícolas livres de agroquímicos, incentivando a adoção de sistemas agroecológicos. A cafeicultura agroecológica, orientada por princípios conservacionistas, mostra-se compatível com os objetivos do desenvolvimento sustentável, sobretudo ao incorporar técnicas de conservação do solo e da água, além de outras ações ambientalmente adequadas. Dessa forma, este trabalho propõe evidenciar a relevância da EA como instrumento para facilitar a compreensão e internalização das questões ambientais, integrando-as à rotina de trabalho dos cafeicultores, com ênfase na preservação e, ou, recuperação dos ecossistemas.

Palavras-chave: Práticas conservacionistas. Transição agroecológica. Sustentabilidade socioambiental. Agricultura ecológica. Manejo sustentável. Consciência ambiental. Ecopedagogia.

1. Introdução

No período Mesolítico, os grupos humanos passaram da coleta e caça para o cultivo sistemático de alimentos, visando garantir seu sustento de forma mais estável e regular. Com o avanço das tecnologias ao longo do tempo, as práticas agropecuárias sofreram profundas transformações, marcadas pelo uso intensivo de insumos como agrotóxicos, fertilizantes sintéticos, sistemas de irrigação, variedades geneticamente modificadas e mecanização. Apesar do aumento da produtividade, tais práticas resultaram na degradação ambiental, na contaminação dos recursos hídricos, na redução da biodiversidade e no comprometimento da saúde humana e dos ecossistemas (Souza, 2018; Altieri; Nicholls, 2020; Medeiros *et al.*, 2022).

O uso indiscriminado de agrotóxicos, em particular, tem provocado impactos negativos expressivos, tanto para a saúde dos trabalhadores rurais e consumidores quanto para a fauna, a flora e os ciclos naturais (Souza, 2015; Silva; Moura; Oliveira, 2023). Diante desse cenário, torna-se evidente a urgência de superar o modelo de agricultura convencional e adotar alternativas de base ecológica.

Segundo o Instituto Brasileiro de Agricultura Sustentável (IBA, 2021), o momento atual exige uma ruptura com a agricultura de alto impacto ambiental e a construção de caminhos voltados à transição agroecológica, com práticas autossustentáveis e regenerativas. A agroecologia, nesse contexto, se consolida como uma abordagem integradora, que busca conciliar produtividade, justiça social e conservação ambiental (Franco *et al.*, 2023).

Nesse processo de transição, a Educação Ambiental (EA) desempenha papel estratégico, ao promover a reflexão crítica sobre os padrões de consumo e produção, fortalecendo a consciência ecológica individual e coletiva. No âmbito escolar, a EA contribui para a formação de sujeitos críticos e comprometidos com a sustentabilidade, por meio da promoção de práticas educativas contextualizadas e transformadoras (Sato; Carvalho; Lima, 2021). A escola, enquanto espaço privilegiado de socialização do conhecimento, tem potencial para estimular mudanças de valores e atitudes, especialmente entre crianças e jovens, favorecendo o restabelecimento da relação harmônica entre sociedade e natureza (Joslin; Roma, 2017).

O objetivo deste artigo é apresentar a EA como ferramenta de transformação de concepções agropecuárias, especialmente no contexto da cafeicultura convencional, evidenciando seu papel na promoção da sustentabilidade por meio da transição para sistemas agroecológicos e sensibilizando os produtores quanto à importância da conservação dos recursos naturais.

2. Educação Ambiental

No Brasil, a EA é regulamentada pela Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), instituída pela Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, que estabelece os princípios, objetivos e diretrizes da EA nos sistemas de ensino e na sociedade (Tote; Andrade, 2015).

A EA deve ser compreendida como uma dimensão essencial da educação, com caráter crítico, transformador e emancipatório, capaz de modificar posturas individuais e coletivas, promovendo valores éticos, políticos e sociais voltados para a sustentabilidade (Maia, 2014; Sato; Carvalho; Lima, 2021). Longe de uma abordagem meramente informativa ou pontual, a EA integra saberes ecológicos, sociais e culturais, articulando os níveis local, regional e global (Rangel; Córdova, 2022; MEC, 2023).

De acordo com Guimarães (2000), a concepção crítica de EA, alicerçada em uma relação dialética entre sociedade e natureza, busca fomentar a autonomia dos sujeitos, permitindo-lhes compreender e transformar suas realidades. Esse processo implica uma leitura política do mundo, orientada por princípios de justiça socioambiental e equidade.

Segundo Carvalho (2004), não há uma única forma de compreender ou praticar a EA. Ela se configura como um campo plural, heterogêneo e em constante disputa de sentidos, no qual diferentes concepções paradigmáticas de sociedade e natureza coexistem em diálogo, tensão ou conflito. Dentro desse campo, destaca-se a EA crítica, que propõe a formação de sujeitos capazes de atuar com responsabilidade ética nas relações consigo, com os outros e com o ambiente (Carvalho, 2004; Franco *et al.*, 2023).

Essa abordagem crítica da EA promove um olhar questionador sobre os modelos de desenvolvimento, especialmente no que diz respeito à produção de alimentos. Segundo Maia (2015), a EA deve investigar politicamente as práticas produtivas, buscando romper com a lógica capitalista predatória e propondo formas sustentáveis e socialmente justas de produção. Nesse sentido, a EA contribui para ressignificar as relações entre produtores, consumidores e meio ambiente, incentivando práticas agroecológicas e o fortalecimento da cidadania ambiental (Altieri; Nicholls, 2020; Ferreira; Moura; Torres, 2022).

3. Cafeicultura convencional no Brasil

A cafeicultura tem papel central na história econômica do Brasil, sendo responsável por ciclos de crescimento e estruturação social e territorial. De acordo com Lopes *et al.* (2014), essa atividade proporcionou importantes ganhos econômicos e consolidou o país como o maior produtor mundial de café. No entanto, esse desenvolvimento ocorreu, em grande parte, sob um modelo de produção convencional que gerou severas externalidades socioambientais negativas.

Entre os principais impactos ambientais observados estão: a) a implantação de monocultivos que resultou no desmatamento de grandes áreas da Mata Atlântica e do Cerrado, com consequente redução da biodiversidade; b) o uso intensivo e indiscriminado de agroquímicos; c) a supressão de matas ciliares, que causou o assoreamento e a contaminação dos recursos hídricos; e d) efeitos diretos à saúde dos agricultores, com casos de intoxicação e óbitos atribuídos à exposição a agrotóxicos (Souza, 2015; 2018; Medeiros *et al.*, 2022; Silva; Moura; Oliveira, 2023).

O sistema produtivo convencional de café, especialmente baseado no monocultivo a pleno sol, tornou os agroecossistemas mais vulneráveis. Segundo Altieri e Nicholls (2020), a eliminação da diversidade funcional dos sistemas agrícolas compromete sua resiliência ecológica, favorecendo o surgimento de pragas e doenças, além do empobrecimento biológico do solo. Esse desequilíbrio quebra a homeostasia do ecossistema, tornando-o dependente de insumos externos, como fertilizantes sintéticos e pesticidas (Franco *et al.*, 2023).

Estudos mais recentes destacam que, embora o modelo convencional ainda seja dominante, cresce a percepção de que é necessário rever as práticas produtivas na cafeicultura, buscando alternativas mais sustentáveis e integradas ao meio ambiente (Almeida; Castro, 2023).

A Figura 1 ilustra uma lavoura cafeeira tradicional, baseada no modelo convencional de monocultivo a céu aberto, representando a realidade ainda predominante em muitas regiões produtoras do Brasil.



Figura 1. Modelo convencional de produção de café: uso intensivo do solo. Fonte: <https://cafemaniacos.com.br/>, 2020.

4. Café sombreado como alternativa à monocultura convencional

Desde o início do século XIX, a condução convencional da cafeicultura no Brasil tem sido marcada por baixos níveis de diversidade biológica e pela eliminação do cultivo sob dossel florestal — prática comum em países como Colômbia, Venezuela, Costa Rica, México, Nicarágua e Panamá (Aguiar-Menezes *et al.*, 2007). Esse modelo pleno-sol reduz consideravelmente a biodiversidade e fragiliza os agroecossistemas.

Em resposta a essas limitações, pesquisas no Brasil vêm explorando soluções mais ecológicas e viáveis economicamente, com foco nos pequenos e médios produtores. Estudos recentes demonstram os benefícios do cultivo em sistemas agroflorestais, especialmente por intermédio do café sombreado. No

Maciço de Baturité (Ceará), a adoção de café consorciado com sombra gerou ganhos na conservação de umidade do solo, produtividade e qualidade sensorial do grão — com aumento de até 32% na produção em comparação ao cultivo a pleno sol utilizando espécies como ingá e pupunha (Saes *et al.*, 2003; Amorim; Assis, 2022; Incaper-ES, 2024).

Outros estudos destacam que sistemas de café sombreado podem abrigar biodiversidade comparável à de florestas naturais, oferecendo refúgio para aves e insetos benéficos ao controle biológico de pragas (Perfecto *et al.*, 1996).

Além disso, o cultivo sombreado promove melhor conservação hídrica, menor erosão do solo e maior estabilidade microclimática, reduzindo impactos climáticos extremos (Erwin *et al.*, 2019; Taques *et al.*, 2024). Essas vantagens ecológicas são acompanhadas de viabilidade econômica, com diversificação de renda por meio do uso de árvores nutri, frutíferas ou madeireiras, complementando a renda do produtor e valorizando o sistema agroflorestal (Incaper-es, 2024; Mongabay, 2024; Reuters, 2024) (Figura 2).



Figura 2. Fazenda de café orgânico nas montanhas do Panamá. Fonte: Freepik, 2025.

Uma das tecnologias agrícolas sugeridas é a implantação do Sistema Agroflorestal, conhecido como (SAF), ou a Permacultura, que têm o seu fomento aplicado pela EA para obter uma agricultura sustentável. Os SAFs são sistemas agrícolas diferenciados dos sistemas convencionais, para aumentar a

diversidade e a produtividade agrícola, conservando e melhorando a fertilidade dos solos.

Considerado como uma prática agroecológica, o SAF tem um papel fundamental no processo ecológico, como a degradação e incorporação da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e da biodiversidade aos sistemas agrícolas, o fluxo de energia, a sucessão ecológica para reduzir a aplicação dos insumos externos, conduzindo à produção agrícola sustentável (Armando *et al.*, 2002; Gliessman, 2009; Souza, 2018; Silva, Souza, 2021).



Figura 3. Sistema Agroflorestal em lavoura cafeeira. Fonte: Sítio Pema, 2018.

O sistema convencional de produção de café no Brasil caracteriza-se pelo uso intensivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos como práticas de manejo agrícola. Em contrapartida, o sistema orgânico prioriza técnicas que potencializam a biodiversidade e o uso dos recursos endógenos, reduzindo a dependência de energias não renováveis e eliminando o uso de agrotóxicos, promovendo a preservação da saúde ambiental e humana (Theodoro, 2002; 2006; Silva *et al.*, 2021).

A principal divergência entre a cafeicultura convencional e a agroecológica reside nos insumos utilizados, sobretudo no manejo de pragas. A cafeicultura convencional ainda se baseia majoritariamente no uso de agroquímicos para controle de pragas, visando maior produtividade e custos reduzidos. Contudo, a toxicidade desses produtos e seus resíduos persistentes em alimentos, água e

solo requerem controle rigoroso para minimizar riscos ambientais e à saúde pública (Caldas; Souza, 2000; Almeida; Pereira; Lima, 2024).

Toda atividade agrícola apresenta potencial para causar desequilíbrios ambientais, o que torna imprescindível refletir sobre os impactos gerados pelos insumos utilizados. Na cafeicultura, a busca por produtividade a qualquer custo tem sido questionada frente aos princípios da sustentabilidade ambiental e econômica (Pereira *et al.*, 2022).

As práticas conservacionistas no solo e no manejo de pragas assumem papel fundamental. Destacam-se: a) controle ecológico de insetos-praga com manejo adequado; b) aplicação do manejo integrado de pragas (MIP) e controle eficiente de plantas invasoras; c) destinação adequada dos efluentes provenientes do despulpamento do café, evitando a contaminação ambiental (Lima *et al.*, 2002; Souza, 2018; Ferreira *et al.*, 2024) (Figura 4).



Figura 4. Prática sustentável de controle biológico na produção de café (Fungo *Beauveria bassiana* colonizando adulto de broca-do-café). Fonte: <https://www.terravivasa.com.br/>, 2020.

O uso de práticas conservacionistas é essencial para mitigar os impactos negativos e as externalidades ambientais das atividades agrícolas. Um exemplo prático é o manejo ecológico via controle biológico, que utiliza inimigos naturais das pragas — como insetos predadores, parasitoides e microrganismos (fungos, bactérias e vírus) — como estratégia eficiente e sustentável no cultivo do café (Oliveira; Silva; Souza, 2023).

4. Cafeicultura orgânica e agroecológica

A agricultura orgânica caracteriza-se por não utilizar fertilizantes sintéticos nem agrotóxicos, adotando práticas que promovem a sustentabilidade ambiental. Entre estas se destacam a adubação verde, a rotação de culturas para evitar o desgaste do solo, a compostagem e o controle biológico de pragas, entre outras técnicas ambientalmente corretas. A cafeicultura orgânica é realizada sem o uso de agrotóxicos ou fertilizantes sintéticos altamente solúveis, empregando alternativas naturais como compostagem de matéria orgânica vegetal e animal, biofertilizantes, resíduos de polpa e casca de café, e húmus de minhoca (Theodoro, 2003; Gonçalves *et al.*, 2019; Silva; Souza; 2021; Santos *et al.*, 2022).

A cafeicultura agroecológica tem se destacado como uma metodologia alternativa para a produção de alimentos limpos, fundamentada em tecnologias sustentáveis que respeitam os princípios ecológicos, promove a preservação dos espaços naturais, estimulam a reciclagem de nutrientes e conservam a biodiversidade (Silva *et al.*, 2021). Segundo Altieri e Nicholls (2007):

"Os princípios da agroecologia podem ser aplicados para implementar a eficiência dos sistemas agrícolas através do uso de várias técnicas e estratégias. Cada uma destas terá diferentes efeitos na produtividade, estabilidade e resiliência dentro dos sistemas de produção, dependendo das condições locais, limitações de recursos e, em muitos casos, do mercado."

No contexto da cafeicultura agroecológica, a adubação verde constitui uma alternativa importante para a nutrição das plantas. Essa prática consiste na incorporação ou na manutenção sobre o solo da massa vegetal de plantas cultivadas no local ou importadas, visando preservar ou restaurar a produtividade das terras agricultáveis (Alcântara, 2016; Oliveira; Silva; Souza, 2023). O uso de adubos verdes favorece a ciclagem e a fixação biológica de nutrientes, reduz a erosão, melhora a estrutura do solo, incrementa a matéria orgânica, aumenta a capacidade de retenção hídrica e diminui a incidência de plantas invasoras e pragas (CNA, 2022; Pereira *et al.*, 2023).

A Figura 5 exemplifica um sistema de manejo ecológico no controle de plantas invasoras por meio de plantas de cobertura, que suprimem plantas daninhas por meio do abafamento, aplicado no cultivo do café.



Figura 5. Lavoura com manejo do mato e uso de leguminosas nas entrelinhas.
Fonte: Souza, 2018.

A crescente preocupação da sociedade com o consumo de alimentos livres de agrotóxicos e outros produtos químicos impulsionou a adoção do manejo ecológico de pragas (MEP) na agricultura orgânica. O MEP visa promover o manejo dos agroecossistemas por meio da criação de ambientes harmoniosos e naturais, incorporando conceitos ecológicos ao manejo integrado de pragas (MIP), sistema que associa o ambiente à dinâmica populacional das pragas (Silva *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2023).

O manejo integrado pode ser aplicado ao controle de insetos, doenças e plantas daninhas, incluindo, por exemplo: a) o uso de inseticidas microbiológicos, como fungos entomopatogênicos do gênero *Beauveria bassiana* que colonizam o adulto da broca-do-café; e b) a utilização de plantas de cobertura leguminosas, como *Arachis pintoi*, que suprimem plantas invasoras por meio do abafamento e da alelopatia. Essas estratégias possibilitam um melhor entendimento dos hábitos das pragas e a seleção dos métodos de controle mais adequados (Oliveira; Silva; Souza, 2023; Pereira *et al.*, 2023).

Conforme destacado por Venzon *et al.* (2001) *apud* Theodoro (2006):

“Na verdade, o MIP tem sido usado sem que se tenha conhecimento pleno das interações ecológicas envolvidas no agroecossistema e, assim, utilizam-se de medidas terapêuticas de controle, sem saber, realmente, quais são os motivos que levaram determinados insetos a atingir o *status* de praga e como agem os agentes limitantes do crescimento populacional desses insetos.”

Na cafeicultura orgânica, o combate a insetos, plantas invasoras e doenças baseia-se em práticas ecológicas que não agridem o meio ambiente, como a rotação de culturas, a adubação verde e o controle biológico. Essas práticas objetivam manter a estrutura e a produtividade do solo, promovendo a harmonia entre a agricultura e a natureza (Santos *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2024).

A vivência e a aplicação de práticas agrícolas conservacionistas evidenciam a importância da agricultura orgânica como modelo de desenvolvimento sustentável, promovendo uma nova relação com a natureza e o meio ambiente. A Figura 6 ilustra um manejo ecológico baseado no consórcio de café, banana e espécies nativas, que cria harmonia no processo agrícola e proporciona ganhos em produção e produtividade sustentáveis (Almeida; Pereira; Lima, 2024).



Figura 6. Lavoura com manejo ecológico, utilizada com consórcio de café, banana e espécies arbóreas. Fonte: Os autores.

5. A Educação Ambiental e a promoção da sustentabilidade

A ocupação dos espaços naturais pelo ser humano tem provocado impactos ambientais significativos, resultando em degradação, impactos e externalidades negativos. As práticas agrícolas convencionais na cafeicultura têm contribuído para esse processo acelerado de degradação do solo e do meio ambiente (Silva *et al.*, 2022; Oliveira; Silva; Souza, 2023). Por outro lado, a cafeicultura agroecológica busca fortalecer os processos biológicos por meio da diversificação de culturas, utilização de adubos orgânicos e controle biológico de pragas, entre outras práticas, visando mitigar os impactos ambientais e proteger a saúde dos consumidores (Pereira *et al.*, 2023; Almeida; Pereira; Lima, 2024).

A crescente preocupação social com a saúde, qualidade de vida e preservação ambiental tem impulsionado os consumidores a valorizar métodos de produção agrícola que assegurem produtos de qualidade, com menor agressividade ao meio ambiente e respeito aos direitos dos trabalhadores rurais. Nesse contexto, a agricultura agroecológica se destaca como uma alternativa sustentável, que promove o equilíbrio ambiental e a justiça social (Santos *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2024). A Figura 7 ilustra esses princípios aplicados na cafeicultura agroecológica.



Figura 7. Lavoura de produção de café orgânico e agroecológico. Fonte: Os autores.

A compreensão dos impactos ambientais negativos que o planeta enfrenta é fundamental para conscientizar sobre a produção sustentável, configurando-se como uma das possibilidades para mitigar os desequilíbrios sociais e ambientais atuais (Silva *et al.*, 2022; Almeida; Pereira; Lima, 2024). A EA é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento da consciência e sensibilidade humanas diante da conservação ambiental (Pereira *et al.*, 2023).

Historicamente, a falta de conscientização aliada ao uso inadequado de fertilizantes e agrotóxicos na cafeicultura pós “Revolução Verde”, incorporado aos hábitos dos produtores, resultou na contaminação ambiental e na exposição de agricultores e consumidores a riscos sanitários (Costa *et al.*, 2023; Oliveira; Silva; Souza, 2023). Frente a essa realidade, é urgente o desenvolvimento de políticas públicas que orientem as ações de extensão rural por meio das ferramentas da EA, promovendo propostas que conduzam ao desenvolvimento sustentável e garantam o bem-estar social e ambiental (Anjos, 2009; Ferreira *et al.*, 2024).

A EA desempenha papel capital na fundamentação de conceitos e na sensibilização dos produtores de café, estando ao seu lado para conscientizar, preservar e proteger o meio ambiente. Conforme Dantas (2017), a EA visa gerar uma consciência ecológica, transmitindo conhecimentos que possibilitem mudanças comportamentais voltadas à proteção da natureza. Barchi (2016) ressalta que “a institucionalização da educação ambiental tem como uma das suas principais justificativas o fato de que sem ela não é possível criar sociedades sustentáveis e justas, e muito menos garantir um planeta mais saudável e limpo para as gerações futuras”.

A prática agrícola na cafeicultura agroecológica estimula a preservação do ecossistema e reforça ações centradas na sustentabilidade por meio da EA. A sustentabilidade ambiental define a forma como os seres humanos utilizam os recursos naturais para suprir suas necessidades sem comprometer sua disponibilidade para as futuras gerações. Ou seja, ser sustentável é usar e cuidar para que os meios de produção não sejam destruídos para os próximos usuários (Silva *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de novos métodos e tecnologias adequadas que garantam a sustentabilidade no processo produtivo e estimulem o

desenvolvimento econômico constitui um grande desafio a ser implementado no cotidiano do produtor de café. O maior beneficiário da adoção das boas práticas sustentáveis é o próprio produtor rural, sua propriedade, família e toda a comunidade local (Pereira *et al.*, 2023; Ferreira *et al.*, 2024).

6. Integração de práticas sustentáveis em cadeias globais de valor

O princípio da sustentabilidade emerge no contexto da globalização, que representa uma nova cultura na qual a conservação do meio ambiente é fundamental. Para que a sustentabilidade seja efetiva, é necessário o engajamento dos produtores rurais na busca por um modelo de produção agrícola que respeite os recursos naturais, associando essa prática à melhoria do bem-estar e da qualidade de vida (Silva *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2023). A EA sustenta a base científica que conduz à sustentabilidade, devendo envolver toda a sociedade na busca por um desenvolvimento capaz de manter o padrão de vida das gerações presentes sem comprometer as futuras (Almeida; Pereira; Lima, 2024; Ferreira *et al.*, 2024).

A sustentabilidade deve ser entendida como um processo de longo prazo, intimamente ligado ao conceito de desenvolvimento sustentável. Isso significa que o crescimento e a satisfação das necessidades humanas podem ser alcançados sem que a exploração dos recursos naturais comprometa as condições das futuras gerações. Conforme Leff (2001, p. 79):

“O princípio da sustentabilidade surge como uma resposta à fratura da razão modernizadora e como uma condição para construir uma nova racionalidade produtiva, fundada no potencial ecológico e em novos sentidos de civilização a partir da diversidade cultural do gênero humano. Trata-se da reapropriação da natureza e da invenção do mundo; não só de um mundo no qual caibam muitos mundos, mas de um mundo conformado por uma diversidade de mundos, abrindo o cerco da ordem econômica-ecológica globalizada.”

Esses conceitos fornecem as bases teóricas para a sustentabilidade plena, que depende da integração das dimensões política, social, econômica, cultural e ambiental. A partir desse princípio, já adotado por produtores em diversos países, será apresentado o Currículo de Sustentabilidade do Café, uma

ferramenta que visa fortalecer práticas sustentáveis na cadeia produtiva (Santos *et al.*, 2022; Oliveira; Silva; Souza, 2023).

7. Currículo de sustentabilidade do café

O Currículo de Sustentabilidade do Café (CSC), conforme descrito por Esteves (2015), teve sua formatação e estruturação curricular baseadas na Instrução Normativa 49/2013 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), além dos princípios da sustentabilidade cafeeira estabelecidos por diversas instituições que definem critérios técnicos para a produção, boas práticas agrícolas e gestão da atividade cafeeira. O CSC é uma ferramenta estratégica que orienta os produtores na adoção de práticas sustentáveis, considerando as múltiplas dimensões da sustentabilidade na cafeicultura (Silva *et al.*, 2022; Oliveira; Silva; Souza, 2023).

A Plataforma Global do Café (Global Coffee Platform – GCP) é uma iniciativa internacional que busca ampliar o uso de práticas sustentáveis na produção de café, promovendo a difusão e a aplicação do CSC em diferentes países produtores. Essa plataforma desempenha um papel fundamental na harmonização das práticas agrícolas, respeitando as particularidades locais e assegurando a integração dos aspectos sociais, ambientais e econômicos para a sustentabilidade da cadeia produtiva do café (Pereira *et al.*, 2023; Almeida; Pereira; Lima, 2024).

O CSC organiza-se em dezoito áreas temáticas distribuídas em três dimensões principais:

Aspectos Econômicos: voltados para o aperfeiçoamento da gestão dos recursos e a redução de custos de produção, abordando temas essenciais como produtividade, controles e registros, análise de solo, plano de adubação, análise foliar e manejo integrado de pragas e doenças. Estes elementos são capitais para garantir a eficiência produtiva e a viabilidade econômica da cafeicultura sustentável (Ferreira *et al.*, 2024).

Aspectos Ambientais: direcionados ao cumprimento das normas de preservação ambiental e à minimização dos impactos causados pela atividade cafeeira, contemplando a conservação do solo, áreas de preservação

permanente (APP), uso racional da água, tratamento e destinação de resíduos, armazenamento e devolução de embalagens de agroquímicos, além da observância do registro e prazos de carência dos agroquímicos e a adaptação às condições climáticas. A adoção destes critérios contribui para a conservação dos recursos naturais e para a resiliência dos sistemas produtivos frente às mudanças climáticas (Santos *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2023).

Aspectos Sociais: focados em atender às necessidades humanas e assegurar a segurança socioambiental, estes aspectos envolvem o uso de equipamentos de proteção individual (EPI), capacitação e treinamentos, saúde e segurança do trabalhador, cumprimento da legislação trabalhista e a promoção da inclusão de jovens, mulheres e a sucessão familiar no meio rural. Estes elementos fortalecem a sustentabilidade social, garantindo condições dignas de trabalho e o fortalecimento das comunidades cafeeiras (Pereira *et al.*, 2023; Almeida; Pereira; Lima, 2024).

A Figura 8 ilustra uma lavoura agrícola que integra as 18 áreas temáticas do CSC, destacando a complexidade e a inter-relação entre os aspectos econômicos, ambientais e sociais que devem ser considerados para a adoção de práticas sustentáveis na cafeicultura.



Figura 8. Lavoura agrícola apresentando as 18 áreas temáticas para orientar produtores na aplicação de práticas sustentáveis. Fonte: <https://www.cafepoint.com.br/>.

A implementação do CSC representa um avanço significativo para a sustentabilidade da cadeia produtiva do café, fornecendo uma base técnica e pedagógica para a formação e capacitação dos produtores, e contribuindo para a melhoria da qualidade dos produtos e a conservação dos recursos naturais (Oliveira; Silva; Souza, 2023).

8. Implantação do Currículo de Sustentabilidade do Café (CSC) e os benefícios gerados

A implementação do Currículo de Sustentabilidade do Café (CSC) nas propriedades cafeeiras representa uma estratégia fundamental para o desenvolvimento de uma produção mais sustentável, eficiente e socialmente justa. Ao adotar as 18 áreas temáticas propostas pelo CSC, o produtor pode obter diversos benefícios que transcendem o simples aumento da produtividade, impactando positivamente tanto o aspecto econômico quanto os contextos social e ambiental (Oliveira; Silva; Souza, 2023; Pereira *et al.*, 2023).

Entre os benefícios mais destacados, encontram-se: a maior sustentabilidade da produção, refletida no equilíbrio entre os recursos naturais e as demandas produtivas; aumento da lucratividade em curto, médio e longo prazo, devido à gestão eficiente e ao uso racional dos insumos; melhoria da produtividade e da qualidade do café, fatores que potencializam a competitividade no mercado (Santos *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2024). Além disso, o controle rigoroso dos custos de produção contribui para a viabilidade econômica da propriedade, enquanto as práticas conservacionistas garantem a preservação do solo e da água, reduzindo impactos ambientais adversos (Costa *et al.*, 2023).

Outro aspecto relevante é o foco na capacitação e no treinamento contínuo dos produtores, que são estimulados a aprimorar seus conhecimentos e habilidades para a gestão sustentável da lavoura. A implantação do CSC também assegura o cumprimento das legislações ambientais e trabalhistas, promovendo maior segurança e melhores condições de trabalho, aspectos

fundamentais para a sustentabilidade social da atividade (Pereira *et al.*, 2023; Almeida; Pereira; Lima, 2024).

Adicionalmente, a organização da propriedade é otimizada, permitindo um melhor planejamento e controle das atividades agrícolas, o que resulta em maior eficiência operacional e em processos decisórios mais fundamentados. Assim, a adoção do CSC contribui para o fortalecimento da cadeia produtiva do café, promovendo a integração entre os aspectos econômicos, ambientais e sociais e consolidando a cafeicultura como uma atividade sustentável e resiliente frente aos desafios contemporâneos (Oliveira; Silva; Souza, 2023) (Figura 9).



Figura 9. Cafezal implantado seguindo o cumprimento de normas que orientam as práticas produtivas da CSC. Fonte: <https://armac.com.br/blog/florestal/agroflorestal/>.

Portanto, os benefícios advindos da implantação do Currículo de Sustentabilidade do Café constituem um conjunto integrado de melhorias que asseguram a qualidade superior do produto, o desenvolvimento sustentável da propriedade e o bem-estar das comunidades rurais envolvidas.

9. Considerações

A Educação Ambiental configura-se como uma ferramenta fundamental para promover a sustentabilidade na cafeicultura agroecológica. Por meio da

aprendizagem contínua sobre práticas de agricultura orgânica e agroecológica, cria-se um ambiente propício para que os agricultores desenvolvam uma nova relação com a natureza, estabelecendo sistemas produtivos que conciliem eficiência e respeito ambiental. Contudo, para que esse processo seja efetivo, é imprescindível o planejamento e a implementação de modelos de Educação Ambiental que tenham como objetivo central o desenvolvimento sustentável, integrando aspectos sociais, econômicos e ambientais.

É necessário reconhecer e superar os conflitos que permeiam os sistemas produtivos atuais: enquanto a agricultura convencional, pautada em insumos químicos e práticas pouco sustentáveis, compromete a saúde dos ecossistemas e das comunidades rurais, a cafeicultura agroecológica, apoiada em práticas conservacionistas, promove o bem-estar socioambiental e econômico. A sustentabilidade ambiental está diretamente relacionada ao uso racional dos recursos naturais renováveis, sendo capital a criação e o cumprimento de normas que orientem as práticas produtivas, como exemplificado pelo “Currículo de Sustentabilidade do Café” (CSC).

O desenvolvimento sustentável deve ser compreendido como um conceito integral, que não permite a fragmentação entre as esferas ambiental, política, social e econômica. A sustentabilidade real exige a harmonização das condições ecológicas com os contextos socioculturais e econômicos locais, valorizando o uso dos recursos endógenos e o fortalecimento das comunidades produtoras. Neste sentido, a Educação Ambiental desempenha papel decisivo ao conscientizar e capacitar os produtores, promovendo uma sólida fundamentação conceitual que permita a efetiva implementação da sustentabilidade na prática agrícola.

A cafeicultura agroecológica baseia-se em princípios preservacionistas da biodiversidade que, quando aliada a uma Educação Ambiental crítica e transformadora, favorece o surgimento de novos paradigmas de produção e relacionamento com o meio ambiente. Este diálogo entre práticas produtivas sustentáveis e a conscientização ecológica promove o despertar de um pensamento ecológico fundamentado na preservação ambiental e na construção de um meio ambiente equilibrado e resiliente.

Portanto, a promoção da sustentabilidade na cafeicultura exige uma abordagem integrada, que articule conhecimentos técnicos, práticas sustentáveis e processos educativos continuados. Somente assim será possível garantir um futuro promissor para os produtores de café, suas comunidades e para o equilíbrio ambiental global.

10. Referências

AGUIAR-MENEZES, E. L. *et al.* Susceptibilidade de seis cultivares de café arábica às moscas-das-frutas (Diptera: Tephritoidea) em sistema orgânico com e sem arborização em Valença, RJ. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.36, n.2, p.268-273, 2007.

ALCÂNTARA, F. **Saber e Fazer Agroecologia**: Por uma agricultura mais generosa com a terra e com as pessoas. 2016. Cartilha. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1047024/1/Saber_eFazerAgroecologia5ainfo.pdf. Acesso em: 28 abr. 2025.

ALMEIDA, R. F. de; PEREIRA, A. C.; LIMA, J. R. Educação ambiental e práticas agroecológicas na promoção da sustentabilidade rural. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 75-90, 2024.

ALMEIDA, R. T.; CASTRO, F. B. Café e sustentabilidade: desafios da produção convencional e transições agroecológicas no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Agrária**, v. 18, n. 2, p. 112-130, 2023. Disponível em: <https://revistaagroecologia.org.br>. Acesso em: 5 ago. 2025.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. São Paulo: Agropecuária, 2002.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Agroecologia resgatando a agricultura orgânica a partir de um modelo industrial de produção e distribuição. **Ciência & Ambiente**, n. 27, p. 141-152, 2003.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 5. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2020.

AMORIM, M. A.; ASSIS, R. L. de. A experiência de produção de café na Serra de Baturité – Ceará: aprendizado empírico e os reveses causados pelas políticas cafeeiras do Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 39, p. 459-476, 2022.

ANJOS, K. M. G. dos. **Investigação e avaliação da toxicidade aguda dos agrotóxicos mais utilizados no cinturão verde da Grande Natal (RN/ Brasil) para o peixe-zebra (Danio rerio Hamilton Buchanan, 1822, Teleostel, Cyprinidae)**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Bioecologia Aquática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

ARMANDO, M. S. **Agrofloresta para a agricultura familiar**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. 11 p.

BARCHI, R. Educação ambiental e (eco) governamentalidade. **Ciênc.Educ.**, Bauru, Universidade de Sorocaba, Departamento de Geografia, Sorocaba, SP, Brasil. v. 22, n. 3, p. 635-650, 2016.

BRASIL. Instrução Normativa N. 007 de 17 de maio de 1999. **Estabelece normas para produção de produtos orgânicos vegetais e animais**. Diário Oficial da União, Brasília, n.94, Seção 1, p. 11, 19 maio 1999.

BRASIL. **Lei, Nº. 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, DF, 1999.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: terceiro e quarto ciclos do Ensino Fundamental. Temas transversais. Brasília: MEC/SEF, 1998.

CALDAS, E. D.; SOUZA, L. C. K. R. Avaliação de risco crônico na ingestão de resíduos de pesticidas na dieta brasileira. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 529-537, 2000.

CARVALHO, I. C. M. **Educação Ambiental Crítica**: nomes e endereçamentos da educação. In: LAYRARGUES, P. P. (Coord.). **Identidades da educação ambiental brasileira**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 13-24.

CARVALHO, I. C. M. **A invenção ecológica**: narrativas e trajetórias da educação ambiental no Brasil. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002. 232 p.

CARVALHO, V. L. de; CHAULFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro**: diagnose e controle. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 44p. (Boletim Técnico, 58).

CNA, Confederação Nacional da Agricultura. SENAR. In: **Adubo verde oferece 'combo' de benefícios que melhoram a produtividade e contribuem com o meio ambiente**. 21 set. 2022. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/adubo-verde-oferece-combo-de-beneficios-que-melhoram-a-produtividade-e-contribuem-com-o-meio-ambiente>. Acesso em: 28 abr. 2025.

COSTA, F. P.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, D. J. Manejo integrado de pragas na cafeicultura: estratégias atuais e desafios futuros. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 15, n. 2, p. 140-155, 2023.

DANTAS, G. C. da S. **Educação Ambiental**. Brasil Escola. Disponível em: <http://brasilecola.uol.com.br/educacao/educacao-ambiental.htm>. Acesso em: 02 jun. 2020.

ESTEVES, J.; SILVESTRE, L. **Cafés sustentáveis**: Espírito Santo promoveu Lançamento do Currículo de Sustentabilidade do Café em âmbito nacional. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/>. Acesso em: 10 jul. 2020.

FERREIRA, A. F.; MOURA, J. C.; TORRES, D. F. Educação ambiental crítica e justiça socioambiental: caminhos para uma formação emancipadora. **Revista Educação Ambiental em Ação**, v. 21, n. 81, p. 12-25, 2022. Disponível em: <https://revistaea.org>. Acesso em: 5 ago. 2025.

FERREIRA, L. S.; MORAES, T. R.; CASTRO, M. V. Agricultura agroecológica: contribuições para a saúde, o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. **Sustainability in Agriculture**, v. 6, n. 3, p. 155-170, 2024.

FRANCO, J. P. *et al.* Agroecologia e desenvolvimento sustentável: contribuições para a transformação dos sistemas agroalimentares. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 45-62, 2023. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/24585>. Acesso em: 5 ago. 2025.

FREEPIK. **Uma fazenda de café orgânico nas montanhas do Panamá**. dez. 2014. Fotografia. Disponível em: https://br.freepik.com/fotos-premium/uma-fazenda-de-cafe-organico-nas-montanhas-do-panama-com-cerejas-vermelhas-de-cafe-chiriqui-highlands-panama_34897332.htm#from_element=detail_alsolike. Acesso em: 28 abr. 2025.

GARCIA, E. G. **Agrotóxicos e Prevenção** – Manual de treinamento. São Paulo: Fundacentro, 1991.

GARCIA, E. G.; ALMEIDA, W. F. de Exposição de trabalhadores rurais aos agrotóxicos no Brasil. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 19, n. 72, p. 7-11, 1991.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2009. 654 p.

GONCALVES, D. C.; GONCALVES, D. C.; CRESPO, A. M.; FERREIRA, C. C.; CARRICO, I. G. H.; SOUZA, M. N.; RIBEIRO, W. R. A agroecologia como ferramenta ao fortalecimento da agricultura familiar. **Revista da UNIVAP**, v. 1, p. 342-357, 2019.

GUIMARÃES, M. **Educação ambiental** - temas em meio ambiente. Duque de Caxias: Unigranrio, 2000. p. 16-17.

IBA. Instituto Brasileiro de Agricultura Sustentável. **Conheça os benefícios que o uso da agroecologia pode trazer para a produção rural**. 29 mar. 2021. Disponível em: https://iba.agr.br/noticias-os-beneficios-que-a-agroecologia-pode-trazer-para-a-producao-rural/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 28 abr. 2025.

INCAPER-ES. **Pesquisas sobre café sombreado no Espírito Santo: resultados de produtividade, qualidade e conservação**. Vitória, 2024. Série de vídeos divulgados em 2024.

JOSLIN, É. B.; ROMA, A. de C. A importância da educação ambiental na formação do pedagogo: construção de consciência ambiental e cidadania.

Revista Ciência Contemporânea, p. 95 - 110, 2017. Disponível em: https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20180301124833.pdfrural/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 28 abr. 2025.

LEFF, E. **Saber ambiental**: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.

LIMA, G. F. da C. Crise ambiental, educação e cidadania: os desafios da sustentabilidade emancipatória. In: LOUREIRO, C. F. B.; LAYRARGUES, P. P.; CASTRO, R. S. de (Orgs.). **Educação ambiental**: repensando o espaço da cidadania. 2ª ed. São Paulo: Cortez, 2002.

LOPES, P. R. *et al.* 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**, v. 8, n. 1 e 2, p. 1-38, 2014. Disponível em: <https://periodicos.fclar.unesp.br/redd/article/view/6912/5605>. Acesso em: 28 abr. 2025.

MAIA, J. S. S. Educação ambiental sócio-histórica como perspectiva para a reflexão-ação sobre o trabalho pedagógico nos primeiros anos da educação fundamental. In: TOZONI-REIS, M. F. C.; MAIA, J. S. S. (Coord.). **Educação Ambiental a várias mãos**: educação escolar, currículo e políticas públicas. Araraquara: Junqueira e Marin, 2014. p. 26-40.

MAIA, J. S. S. **Educação ambiental crítica e formação de professores**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2015. 241 p.

MALTA, M. R.; THEODORO, V. C. A. de; CHAGAS, S. J. R. Características físico-químicas e sensoriais de café beneficiado conduzido sob o sistema orgânico no município de Paraisópolis/MG. In: Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil; simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2003. p. 258-258.

MEC. Ministério da Educação. Educação Ambiental. In: **Política Nacional de Educação Ambiental é atualizada**. 18 jul. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2024/julho/politica-nacional-de-educacao-ambiental-e-atualizada?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 28 abr. 2025.

MEDEIROS, J. T. de *et al.* Impactos socioambientais do uso de agrotóxicos e a urgência da agroecologia. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 2, p. 99-112, 2022.

OLIVEIRA, D. J.; SILVA, A. P.; MENDES, C. R. Controle biológico de pragas na cafeicultura: avanços recentes e aplicações práticas. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 14, n. 4, p. 233-249, 2023.

OLIVEIRA, D. J.; SILVA, M. A.; SOUZA, F. L. Impactos ambientais da cafeicultura convencional e práticas agroecológicas. **Revista de Desenvolvimento Rural**, v. 28, n. 1, p. 45-60, 2023.

PEREIRA, A. C.; MENDES, D. S.; LIMA, J. R. Agroecologia e sustentabilidade: desafios e perspectivas para a agricultura familiar. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 15, n. 3, p. 120-135, 2023.

PEREIRA, M. G.; SOUSA, F. L.; ALVES, R. M. Sustentabilidade na cafeicultura: desafios econômicos e ambientais. **Revista de Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 75-89, 2022.

PERFECTO, I.; RICE, R. A.; GREENBERG, R.; VAN DER VOORT, M. E. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. **BioScience**, v. 46, n. 8, p. 598-608, 1996.

RANGEL, T. M.; CÓRDOVA, D. S. A educação ambiental na contemporaneidade: reflexões críticas e desafios para a práxis. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 133-149, 2022.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C.; VENZON, M. Manejo ecológico de pragas do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.23, p. 84-99, 2002.

RICCI, M. dos S. F. *et al.* Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Sci. Agric.** Piracicaba, v.62, n.2, p.138-144, 2005.

RICCI, M. dos S. F. *et al.* **Influência da adubação verde sobre o crescimento, estado nutricional e produtividade do café cultivado no sistema orgânico.** Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2002. 29 p. (Documentos, 153).

SANTOS, V. F.; OLIVEIRA, C. M.; SILVA, E. R. Cafeicultura agroecológica: princípios e práticas sustentáveis. **Revista de Agricultura Orgânica**, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2022.

SATO, M.; CARVALHO, I. C. de M.; LIMA, G. R. de. **Educação ambiental crítica: fundamentos e práticas para a sustentabilidade.** São Paulo: Cortez, 2021.

SILVA, A. R.; MOURA, L. F. A.; OLIVEIRA, C. G. Agrotóxicos e saúde ambiental: uma abordagem crítica sobre os efeitos na agropecuária brasileira. **Cadernos de Saúde Coletiva**, v. 31, n. 1, p. 33-42, 2023.

SILVA, J. M. V. *et al.* Produção orgânica de café: avanços técnicos e ambientais. **Revista Brasileira de Agricultura Orgânica**, v. 12, n. 1, p. 88-105, 2021.

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N. **Produção de café orgânico: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural.** Novas Edições Acadêmicas: Beau Bassin, Mauritius, 2021. 72p. ISBN: 978-620-2-80825-2

SILVA, M. A.; SOUZA, F. L.; ALMEIDA, P. R. Cafeicultura agroecológica: princípios e práticas sustentáveis. **Revista de Desenvolvimento Rural**, v. 27, n. 4, p. 250-268, 2021.

SÍTIO PEMA. Sítio Pema: Agricultura Orgânica e Sustentável. In: **Café Sombreado, um consorciamento de sucesso com a madeira**. 2018. Disponível em: <https://www.sitiopema.com.br/cafe-sombreado-um-consorciamento-de-sucesso-com-a-madeira/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SOUZA, M. C. M. de. **Cafés sustentáveis e denominação de origem: a certificação de qualidade na diferenciação de cafés orgânicos, sombreados e solidários**. 2006. 177f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SOUZA, M. N. **Degradação antrópica e procedimentos de recuperação ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v.1000. 376p.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v.5000. 376 p.

THEODORO, V. C. A. de *et al.* Alterações da qualidade de grãos de cafés (*C. arabica* L.) colhidos no pano e no chão, provenientes de sistemas de manejo orgânico, em conversão e convencional. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 4, p. 38-44, 2002.

THEODORO, V. C. A. de; GUIMARÃES, R. J. O que significa café orgânico? **Cafeicultura**, Patrocínio, n.7, p.16-19, 2003.

THEODORO, V.C.A. de. *et al.* Avaliação do estado nutricional de agroecossistemas de café orgânico no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.27, n.6, p.1222-1230, 2006.

TOTE, A, P.; ANDRADE, M. A. **Educação Ambiental no Centro Estadual de Educação Continuada** – CESEC – Betim, MG, 2009.

VENZON, M.; PALLINI, A.; AMARAL, D. S. S. L. Estratégias para o manejo ecológico de pragas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 19-28, 2001.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma premissa essencial para garantir a sustentabilidade da produção agrícola no futuro é o equilíbrio entre atender às necessidades do presente e preservar a capacidade das futuras gerações de satisfazerem as suas próprias demandas. Esse princípio – amplamente reconhecido como desenvolvimento sustentável – deve nortear ações em todos os setores, com especial destaque para a agricultura e, mais especificamente, para a cafeicultura, atividade de grande relevância econômica, social e cultural no Brasil.

A cafeicultura agroecológica, nesse contexto, emerge como um modelo promissor e necessário, pois alia produção de qualidade à conservação dos recursos naturais. A prática agroecológica não se limita à substituição de insumos químicos por alternativas naturais: ela propõe uma transformação profunda no modo de produzir, pensar e se relacionar com o meio ambiente. Ao integrar ciência, tradição e inovação, a agroecologia promove sistemas agrícolas resilientes, diversificados e socialmente justos.

Entre os principais princípios que sustentam a cafeicultura agroecológica e sua contribuição para a sustentabilidade, destacam-se:

- ✓ **Conservação dos recursos naturais:** práticas agroecológicas buscam preservar o solo, proteger as nascentes, manter a biodiversidade e restaurar ecossistemas degradados. Isso é essencial para a longevidade das lavouras cafeeiras e para a estabilidade ecológica.

- ✓ **Eficiência no uso dos recursos:** ao empregar técnicas como o sombreamento com árvores nativas, adubação verde e controle biológico, o manejo agroecológico reduz significativamente o desperdício de água, energia e insumos, além de otimizar os processos produtivos.

- ✓ **Respeito aos limites ecológicos:** sistemas agroecológicos são desenhados para operar dentro da capacidade de regeneração dos ecossistemas, evitando a exaustão dos recursos naturais e garantindo a renovação dos ciclos produtivos.

- ✓ **Minimização de impactos ambientais:** a ausência de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos reduz os riscos de contaminação do solo e da água, enquanto o uso de cobertura vegetal e rotação de culturas contribui para a conservação ambiental.

✓ Justiça social e fortalecimento da agricultura familiar: a agroecologia reconhece o papel central das famílias agricultoras, povos tradicionais, mulheres e jovens na produção de alimentos saudáveis. Na cafeicultura, essa valorização fortalece os vínculos com o território, promove renda e reduz desigualdades.

✓ Inovação com base no conhecimento tradicional e científico: a agroecologia incentiva a experimentação, a troca de saberes e a adoção de práticas inovadoras, adaptadas às realidades locais.

✓ Adaptação às mudanças climáticas: sistemas agroecológicos são mais resilientes às variações do clima, pois combinam diversidade biológica com práticas conservacionistas que protegem o solo e regulam o microclima.

Diante desse cenário, a produção de cafés orgânicos e agroecológicos ganham um novo significado. A crescente demanda por cafés de alta qualidade, com rastreabilidade, identidade territorial e respeito socioambiental, impulsiona a adoção de modelos sustentáveis. O Brasil – e especialmente o Espírito Santo – possui condições ideais para liderar esse movimento, com microclimas diversos, tradição cafeeira e crescente engajamento dos produtores em práticas sustentáveis.

A utilização de ferramentas como o Sistema de Avaliação de Padrões de Sustentabilidade da Cafeicultura no Espírito Santo contribui diretamente para esse avanço. Por meio de indicadores baseados em protocolos internacionais de sustentabilidade, é possível diagnosticar gargalos e orientar melhorias nos eixos ambiental, social e econômico. Essa abordagem orientada por dados permite que os gestores tomem decisões mais eficazes, promovendo sistemas de produção mais equilibrados e rentáveis.

Além disso, práticas agroecológicas e conservacionistas contribuem diretamente para a qualidade sensorial dos grãos. O cultivo em sistemas agroflorestais, por exemplo, oferece sombra natural, protege contra extremos climáticos e melhora a retenção de umidade no solo – fatores que influenciam positivamente o perfil de sabor do café. Métodos como fermentações naturais e secagem ao sol preservam as nuances aromáticas e agregam valor ao produto final.

Nesse sentido, integrar agroecologia e sustentabilidade à cafeicultura não apenas garante a conservação ambiental, mas também abre caminhos para a

valorização dos cafés especiais. Isso se traduz em oportunidades reais de mercado, como:

- ✓ Certificações e nichos de mercado: cafés agroecológicos podem obter selos como orgânico, comércio justo ou sustentável, aumentando seu valor comercial;
- ✓ Histórias que encantam: contar a trajetória do café, desde a lavoura até a xícara, enfatizando o compromisso ambiental e social, fortalece a conexão com consumidores conscientes;
- ✓ Qualidade e singularidade: os cafés produzidos em harmonia com o meio ambiente tendem a expressar características únicas, que são cada vez mais apreciadas por especialistas e apreciadores.

Por fim, a cafeicultura agroecológica não é apenas uma alternativa técnica ou produtiva – é uma resposta ética, social e ambiental aos desafios do nosso tempo. Seu fortalecimento representa uma oportunidade concreta de construir um modelo de produção agrícola regenerativo, que valoriza a vida, respeita a natureza e promove a dignidade no campo. O futuro da cafeicultura brasileira, portanto, está intrinsecamente ligado à sua capacidade de se reinventar com base nos princípios da agroecologia e da sustentabilidade.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, agosto de 2025.



www.meridapublishers.com